ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1903 г. ТОМЪ 4 No. 6

Луминесценція

П. А. Зилова.

1. Подобно тому, какъ всякое явленіе состоитъ въ превращеніи одной энергіи въ другую, такъ и свѣченіе состоитъ въ томъ, что энергія источника превращается въ лучистую энергію, т. е. въ энергію колебаній окружающей среды. Достигая нѣкоторыхъ тѣлъ, лучистая энергія поглощается ими, и тутъ вновь превращается въ одну изъ обычныхъ формъ; поглощенная глазомъ, лучистая энергія производитъ свѣтовое ощущеніе, и называется поэтому свѣтовою энергіею.

Первоначальная энергія источника, превращающаяся въ лучистую, можетъ быть очень различна. Смотря по роду этой начальной энергіи свѣтящаго источника, мы различаемъ два рода свѣченія. Если начальная энергія источника есть теплота, то свѣченіе называется *температурнымъ свѣченіемъ*; если же начальная энергія источника иная, чѣмъ теплота, то его свѣченіе называется *луминесценціею*.

Тепловая энергія отличается тѣмъ особымъ свойствомъ, что она само собою въ большей или меньшей степени переходитъ въ лучистую энергію; поэтому-то всякое нагрѣтое тѣло непремѣнно испускаетъ лучи, свѣтящіе или несвѣтящіе. Энергіи другихъ формъ не обладаютъ такимъ свойствомъ и если превращаются въ лучистую энергію, то лишь благодаря какимъ-нибудь побочнымъ процессамъ, которые чаще всего остаются намъ со-

вершенно неизвѣстными. Неудивительно послѣ того, что люминесценція изучена гораздо меньше, чѣмъ температурное свѣченіе.

Итакъ, если источнику непрерывно доставляется теплота, которая, нагрѣвъ его до извѣстной температуры, превращается въ лучистую энергію, то источникъ свѣтитъ температурно. Понятно, что температурное свѣченіе источника зависитъ отъ его температуры.

Если же источнику доставляется иная форма энергіи, то превращеніе ея въ лучистую можетъ совершаться по одному изъ слѣдующихъ способовъ.

a) Сообщаемая энергія вполнѣ превращается въ теплоту; тогда между температурою и лучеиспусканіемъ та же связь, какъ въ томъ случаѣ, когда тѣлу приводится непосредственно теплота. Если проволока раскаляется электрическимъ токомъ, то она свѣтитъ также, какъ если бы ей извнѣ сообщали теплоту, т. е. ея свѣченіе температурное.

b) Сообщаемая энергія вполнѣ и нопосредственно обращается въ лучистую энергію опредѣленной длины волны; въ этомъ случаѣ тѣло не нагрѣвается и его свѣченіе не зависитъ отъ температуры; это люминесценція. Примѣромъ такого свѣченія можетъ служить гейслеровская трубка; заключающійся въ ней газъ свѣтится, но нагрѣвается такъ незначительно, что отъ одного такого нагрѣванія, вызваннаго теплотою, не было бы замѣтнаго свѣченія.

c) Сообщаемая энергія можетъ отчасти превращаться въ теплоту, отчасти въ лучистую энергію; въ этомъ случаѣ одновременно имѣютъ мѣсто и температурное свѣченіе и люминесценція. Примѣромъ можетъ служить пламя, которому непрерывно доставляется химическая энергія, одна часть которой идетъ на нагрѣваніе сгорающихъ газовъ, а другая превращается въ лучистую энергію. Поэтому-то свѣченіе пламени зависитъ отъ температуры иначе, чѣмъ свѣченіе твердыхъ тѣлъ.

2. Законы температурнаго лучеиспусканія по крайней мѣрѣ чернаго тѣла изучены хорошо. Отмѣтимъ здѣсь лишь одинъ законъ, опредѣляющій яркость луча (S) въ зависимости отъ температуры испускающаго чернаго тѣла (U) и отъ длины волны (λ); этотъ законъ выражается слѣдующимъ *спектральнымъ уравненіемъ:*

$$S_{\lambda, U} = C\lambda^{-5}e^{-c/\lambda U}$$

гдѣ C и c постоянныя.

Изъ этой формулы видно: 1) что съ повышеніемъ температуры источника яркость всѣхъ его лучей возростаетъ и 2) что яркость есть непрерывная функція длины волны; такимъ образомъ температурно-свѣтящее тѣло испускаетъ лучи всѣхъ сортовъ и потому даетъ непрерывный спектръ.

Приведенное выше спектральное уравненіе примѣняется только къ температурно-свѣтящему тѣлу. И хотя мы не знаемъ спектральнаго уравненія для луминесцирующаго тѣла, но такъ какъ луминесценція и температурное свѣченіе характеризуются противоположными признаками, то, имѣя въ виду только-что найденныя положенія для температурнаго свѣченія, для луминесценціи мы можемъ формулировать слѣдующія положенія: 1) Яркость лучей, испускаемыхъ луминесцирующимъ тѣломъ, не зависитъ отъ температуры; луминесцировать можетъ даже холодное тѣло; 2) луминесцирующее тѣло испускаетъ лишь лучи отдѣльныхъ сортовъ и потому даетъ неполный спектръ—линейчатый или полосчатый.

Такимъ образомъ по спектру свѣтящаго тѣла всего легче различить тотъ и другой родъ свѣченія; напр. раскаленное твердое тѣло даетъ непрерывный спектръ и потому свѣтитъ температурно, а свѣтящій газъ даетъ линейчатый спектръ и потому луминесцируетъ.

3. Изученіе луминесценціи имѣетъ не одинъ научный интересъ; оно чрезвычайно важно для освѣтительной техники. Извѣстно, что всѣ наши источники свѣта, свѣтящіе температурно, вмѣстѣ со свѣтомъ даютъ и теплоту, вовсе въ данномъ случаѣ не нужную, на которую совершенно напрасно расходуется энергія; при этомъ теплота во много разъ превышаетъ свѣтъ—при высшихъ температурахъ въ 100, а при красномъ каленіи даже въ 1000 разъ. Понятно, какъ важно было бы найти *идеальный источникъ свѣта*, который бы давалъ только свѣтъ и не давалъ тепла, т. е. который испускалъ бы только свѣтящіе лучи и не испускалъ бы несвѣтящихъ, въ особенности инфракрасныхъ.

Изъ сказаннаго выше ясно, что такимъ „идеальнымъ" источникомъ можетъ быть только луминесцирующее тѣло и что имъ не можетъ быть температурно-свѣтящее тѣло, ибо температурно-свѣтящее тѣло испускаетъ лучи всевозможныхъ сортовъ, а луминесцирующее тѣло—лишь лучи отдѣльныхъ сортовъ.

Между луминесцирующими тѣлами встрѣчаются такія, которыя очень близко подходятъ къ нашему идеалу, какъ напр.

свѣтящіеся жучки; къ сожалѣнію они не имѣютъ практическаго значенія, такъ какъ даютъ слишкомъ слабый свѣтъ.

4. Можетъ показаться неумѣстнымъ въ наукѣ создавать недосягаемые идеалы; но такой взглядъ неправиленъ. Вспомнимъ вліяніе, оказанное идеальною машиною Карно на развитіе паровой техники; такое же точно вліяніе долженъ имѣть и идеальный источникъ свѣта на будущее развитіе освѣтительной техники: имѣя передъ собою идеалъ, техника будетъ сознательно итти впередъ къ опредѣленной цѣли, хотя и безъ надежды когда-либо ея достичь.

И мы видимъ, что едва народившаяся освѣтительная техника вступаетъ уже на путь, освѣщаемый ея идеаломъ: на практикѣ начали пользоваться луминесценціею. Въ такъ называемой пламенной дугѣ температурному свѣченію углей помогаетъ луминесценція самой дуги, дающей линейчатый спектръ. Ртутная лампа Аронса свѣтитъ повидимому исключительно луминесценціею, ибо спектръ ея линейчатый и температура столь низка, что едва размягчаетъ стекло.

5. Опишемъ теперь различные случаи луминесценціи; смотря по способу возбужденія, луминесценціи даютъ различныя названія.

Фотолуминесценція вызывается падающими на тѣло свѣтовыми лучами, какъ свѣтящими, такъ и несвѣтящими (ультрафіолетовыми); смотря по продолжительности свѣченія послѣ устраненія возбуждающихъ лучей, различаютъ два рода фотолуминесценціи, которымъ присвоены названія *фосфоресценціи* и *флуоресценціи*.

Фосфорецируютъ очень многія тѣла, которыя я не стану перечислять. Если кусокъ картона, покрытый сѣрнистымъ цинкомъ, освѣтить горящимъ магніемъ, то картонъ довольно долго свѣтится бѣлымъ свѣтомъ; если во время освѣщенія часть картона закрыть рукою, то — по устраненію магніеваго свѣта — виденъ черный отпечатокъ руки на свѣтломъ фонѣ. Можно приготовить „фосфоресцирующую картину“, на которой солями барія, стронція и др. нарисованъ цвѣтокъ; на дневномъ свѣтѣ онъ представляется одноцвѣтнымъ — желтовато-сѣрымъ; послѣ освѣщенія магніемъ на картонѣ виденъ синій цвѣтокъ съ зелеными листьями. Еще болѣе обширный классъ тѣлъ флуоресцируетъ. Очень эффектенъ выходитъ слѣдующій опытъ: глубокій стаканъ съ водою освѣщается сверху лучами электрической лампы; за-

тѣмъ въ воду приливаютъ немного раствора флуоресцеина, который расходится въ водѣ струйками; эти струйки ярко флуоресцируютъ, что особенно замѣтно, если фонарь закрыть синею или фіолетовою желатиною, почти не пропускающею свѣтящихъ лучей, но свободно пропускающею тѣ ультрафіолетовые лучи, которые вызываютъ флуоресценцію.

Сдѣлаемъ еще опытъ съ флуоресценціею, вызванною исключительно несвѣтящими (ультрафіолетовыми) лучами. Въ отверстіе электрическаго фонаря вставляемъ діафрагму со стрѣлкою, изображеніе которой проектируемъ линзою на экранъ; если теперь діафрагму закрыть пластинкою Вуда (желатина, окрашенная нитрозо-диметилъ-анилиномъ), не пропускающею свѣтящихъ лучей, то изображеніе на экранѣ исчезнетъ; но помѣстимъ сюда бумагу, покрытую платино-ціанистымъ баріемъ, и мы ясно увидимъ свѣтлое изображеніе діафрагмы съ темною стрѣлкою на ней: подъ дѣйствіемъ ультрафіолетовыхъ лучей, пропускаемыхъ пластинкою Вуда, платиново-ціанистый барій сильно флуоресцируетъ.

Такимъ экраномъ очень удобно обнаруживать ультрафіолетовую часть спектра, лучи которой заставляютъ его флуоресцировать зеленовато-сѣрымъ свѣтомъ.

Нѣкоторыя вещества, какъ парафинъ, вата, яичная скорлупа и т. п. фосфоресцируютъ только въ случаѣ сильнаго охлажденія, именно послѣ погруженія ихъ въ жидкій воздухъ; можно сказать, что въ этомъ случаѣ фосфоресцирующія тѣла испускаютъ „холодный свѣтъ". Это любопытный примѣръ холоднаго свѣченія и наглядно доказывающій существенное различіе между температурнымъ свѣченіемъ и луминесценціею.

6. При возбужденіи тѣла къ фотолуминесценціи оно поглощаетъ лучи извѣстнаго сорта. Если чрезъ флуоресцирующій растворъ пропустить лучи, то они даютъ въ спектрѣ полосу поглощенія. Второй сосудъ съ тѣмъ же растворомъ, вносимый въ этотъ спектръ, нигдѣ не приходитъ въ свѣченіе; слѣд. въ этомъ спектрѣ нѣтъ лучей, нужныхъ для возбужденія луминесценціи раствора: они уже поглощены первымъ растворомъ.

Въ какой зависимости находятся лучи, испускаемые фотолуменисцирующимъ тѣломъ, къ лучамъ, которые вызвали его свѣченіе? На это отвѣчаетъ п р а в и л о С т о к с а: фотолуминесцирующее тѣло всегда испускаетъ лучи меньшей преломляемости,

чѣмъ тѣ лучи, которые вызвали эту луминесценцію. Такъ если на тѣло падаютъ ультрафіолетовые лучи, то оно, флуоресцируя, испускаетъ свѣтящіе лучи.

7. *Электролуминесценція* возбуждается электрическимъ разрядомъ; это явленіе видоизмѣняется, смотря по формѣ разряда. Ограничимся свѣченіемъ въ разрядныхъ трубкахъ, въ которыхъ луминесцируетъ какъ остатокъ газа, такъ и многія тѣла, встрѣчаемыя рязрядомъ, какъ напр. окись цинка (Sidotsche Blende), различные кристаллы и др. Луминесцирующіе газы въ широкихъ разрядныхъ трубкахъ нагрѣваются очень незначительно (градусовъ до 60°); это слѣдуетъ какъ изъ непосредственныхъ измѣреній термометромъ, помѣщаемымъ внутри разрядной трубки, такъ и изъ того обстоятельства, что легко разлагающіеся отъ нагрѣванія газы (напр. іодистыя соединенія ртути и др.) остаются неразложенными въ разрядной трубкѣ и даютъ свои спектры, а не спектры составныхъ частей.

Впрочемъ при прохожденіи тока чрезъ трубку газъ всегда болѣе или менѣе нагрѣвается, при чемъ въ равныхъ длинахъ трубки всегда развиваются равныя количества теплоты; поэтому въ узкихъ частяхъ разрядной трубки луминесцирующій газъ нагрѣвается сильнѣе, чѣмъ въ широкихъ.

Отмѣтимъ еще одинъ интересный случай электролуминесценціи. Если въ быстро-перемѣнное электрическое поле, внести трубку Тесла (безъ электродовъ), то она ярко свѣтится.

Триболуминесценція вызывается механическими причинами: ударомъ, раскалываніемъ и т. п. Всѣмъ знакомое свѣченіе куска сахара при его ударѣ другимъ кускомъ сахара представляетъ случай триболуминесценціи.

Термолуминесценція вызывается легкимъ нагрѣваніемъ нѣкоторыхъ тѣлъ. Такъ куски плавиковаго шпата, положенные на листъ желѣза, который подогрѣвается снизу бунзеновскою горѣлкою, приходятъ въ замѣтное свѣченіе.

Химическая луминесценція наблюдается при многихъ химическихъ процессахъ, напр. при медленномъ окисленіи. Сюда относится всѣмъ извѣстное свѣченіе фосфора на воздухѣ. Несвѣтящее пламя бунзеновской горѣлки представляетъ тоже случай химической луминесценціи: рядомъ со слабыми свѣтящими лучами оно испускаетъ сильные ультрафіолетовые лучи; если

же въ него внести какіе-нибудь пары, то оно испускаетъ свѣтящіе лучи одного или нѣсколькихъ отдѣльныхъ сортовъ. Легко доказать, что это не температурное свѣченіе: Сименсъ нагрѣвалъ газы пламени или вводимыхъ въ него паровъ до той же температуры, которое имѣло пламя, и не получалъ при этомъ свѣченія.

Для пополненія нашего перечня различныхъ случаевъ луминесценціи упомянемъ луминесценцію, вызываемую рёнтгеновскими лучами, беккерелевскими лучами или „эманаціею" радія, а также луминесценцію, обусловливаемую дѣятельностью микроорганизмовъ; къ послѣднему случаю относится и явленіе, извѣстное подъ названіемъ „свѣченія моря". Всѣ эти случаи луминесценціи еще очень мало изучены и мы не можемъ даже сказать, какая энергія тутъ превращается въ лучистую.

Энергія и энтропія

Ф. Ауэрбаха[1]).

7.

Судьба нѣкоторыхъ открытій крайне своеобразна. Дѣлается открытіе; современники его не понимаютъ; проходятъ десятки лѣтъ, пока его оцѣнятъ должнымъ образомъ; затѣмъ вдругъ наступаетъ обратное теченіе и открытіе переоцѣнивается; въ концѣ концовъ является нелегкая задача установить надлежащія границы. Происходитъ рядъ колебаній, пока не достигнется состояніе равновѣсія.

Такъ и здѣсь. Сошло со сцены цѣлое поколѣніе, пока принципъ сохраненія энергіи былъ всѣми признанъ; затѣмъ наступила эта его переоцѣнка. Часто высказывали мысль, что въ немъ заключается лѣкарство противъ всѣхъ недостатковъ науки о при-

---

[1]) Окончаніе; см. стр. 143.

родѣ, его объявляли основнымъ закономъ для всего совершающагося въ мірѣ.

Здѣсь, прежде, чѣмъ итти далѣе, мы должны оговориться. Намъ могутъ замѣтить: объ основномъ законѣ не можетъ быть и рѣчи, такъ какъ мы знаемъ уже два такихъ закона: сохраненія матеріи и сохраненія энергіи. Совершенно справедливо; но въ сущности оба закона одного содержанія и они могутъ быть сведены къ одному принципу сохраненія. По этому пути можно сдѣлать еще шагъ дальше и принципъ матеріи разсматривать какъ частный случай принципа энергіи, выходя изъ того, что въ концѣ концовъ матерія не что иное, какъ—благодаря ея постояннымъ свойствамъ—рѣзко ограниченная форма проявленія энергіи, напр. дѣйствія давленія, свѣченія и пр., что матерія есть носительница энергіи. Впрочемъ, развитіе этой мысли встрѣчаетъ не мало затрудненій, и потому мы этого дѣлать не будемъ, а примемъ, что принципъ сохраненія, одинаково обнимающій матерію и энергію, составляетъ основной законъ.

Теперь спросимъ себя, можетъ-ли законъ сохраненія быть основнымъ закономъ всѣхъ явленій природы. Въ извѣстномъ смыслѣ на этотъ вопросъ можно отвѣчать утвердительно, но по зрѣлому обсужденію приходится дать отрицательный отвѣтъ; стоитъ лишь точнѣе формулировать вопросъ, чтобы удостовѣриться въ этомъ; странно даже, что вообще думали удовольствоваться принципомъ сохраненія.

Что такое явленіе природы? Что есть общаго во всѣхъ явленіяхъ? Очевидно, измѣненія. Измѣняться можетъ очень многое: мѣсто въ пространствѣ, скорость и направленіе движенія, давленіе, форма и цвѣтъ, клѣточки и органы живыхъ существъ; движеніе переходитъ въ теплоту, электричество въ свѣтъ, жизнь смѣняется смертью. Всѣ эти измѣненія совершаются при постоянствѣ количества вещества и энергіи, всѣ они происходятъ согласно закону сохраненія. Но происходятъ-ли они по требованію закона сохраненія? Конечно нѣтъ, ибо требованіе этого закона всего проще удовлетворяется, когда вообще *ничего не происходитъ*. Если меня оставятъ въ темной комнатѣ, наполненной хрупкими бездѣлками, съ однимъ обязательствомъ ничего не разбить, то всего проще я разрѣшу задачу, оставаясь неподвижнымъ; я бы, конечно, могъ очень ловко бѣгать и прыгать между вещами, не задѣвая ихъ, но это было бы ненужнымъ усложненіемъ рѣшенія поставленной мнѣ задачи. Итакъ, если бы существовалъ одинъ

законъ сохраненія, то въ мірѣ могло бы ничего не совершаться. Теперь мы видимъ нашъ принципъ въ его настоящемъ свѣтѣ; при всемъ своемъ громадномъ значеніи, онъ все-таки *отрицательнаго* характера, ибо говоритъ: при всѣхъ измѣненіяхъ въ природѣ матерія и энергія остаются безъ измѣненія. Поэтому даже странно, если на вопросъ объ основномъ законѣ измѣненій въ природѣ получается отвѣтъ: матерія и энергія не измѣняются. Это все равно, какъ если бы на вопросъ о превратностяхъ, испытанныхъ въ своей жизни Р. Майеромъ, отвѣчали: онъ неизмѣнно назывался Р. Майеромъ или онъ оставался всегда, даже на высотѣ своей славы, простымъ человѣкомъ; что онъ оставался такимъ, это, конечно, очень интересно знать, но это не отвѣтъ на вопросъ о его превратностяхъ.

Законъ сохраненія имѣетъ лишь то значеніе, что ничего не можетъ совершаться вопреки его требованію; но онъ не имѣетъ такого значенія, чтобы по его иниціативѣ дѣйствительно что-нибудь совершалось. Это наблюдательная инстанція, а не предпринимательное учрежденіе; онъ имѣетъ регулирующее значеніе, а не производительное.

Эти антитезы наводятъ на вопросъ: рядомъ съ принципомъ сохраненія нѣтъ-ли принципа измѣненія, т. е. принципа, указывающаго *когда* совершается что-нибудь въ мірѣ и *какъ* оно совершается? Такой принципъ долженъ обнять безконечное разнообразіе всѣхъ явленій природы, и потому было бы несправедливымъ много требовать отъ него; придется удовольствоваться самымъ общимъ, напр. указаніемъ на одно направленіе во всѣхъ явленіяхъ. Принципъ долженъ прежде всего установить условія, при которыхъ ничего не происходитъ, и условія, при которыхъ что-нибудь происходитъ; затѣмъ онъ долженъ показать почему происходитъ это, а не другое, напр. прямо противоположное. Логически такія противоположности всегда возможны: тѣло, если только вообще не неподвижно, можетъ двигаться влѣво или вправо, оно можетъ нагрѣваться или охлаждаться, кусокъ кристалла, опущенный въ растворъ, можетъ вслѣдствіе растворенія уменьшаться или вслѣдствіе выкристаллизовыванія увеличиваться, болѣзнь можетъ кончиться выздоровленіемъ или смертью. Все это допустимо логически; въ дѣйствительности же имѣетъ мѣсто только одно или только другое, ибо иначе не было ни единства, ни порядка. Происходитъ-ли въ дѣйствительности то, а не

другое, или наоборотъ второе, а не первое, въ этомъ и заключается великій вопросъ, о которомъ здѣсь идетъ рѣчь.

8.

Въ процессахъ, происходящихъ въ природѣ, нетрудно подмѣтить нѣкоторое направленіе или нѣкоторую тенденцію. Начнемъ съ движенія тѣлъ; разсмотримъ напр. паденіе, которое обусловливается силою тяжести; само названіе указываетъ на направленіе: „Es fällt alles nach unten, nichts nach oben“ говоритъ нѣмецкая пословица. Всѣ рѣки текутъ внизъ и уносятъ съ собою твердыя частицы, которыя затѣмъ онѣ отлагаютъ въ низкихъ мѣстахъ, въ своихъ устьяхъ; всякая лавина и всякій горный обвалъ низвергаютъ матерію сверху внизъ, съ болѣе высокаго на болѣе низкій уровень. Эту тенденцію можно назвать сглаживаніемъ неровностей поверхности земли; такое сглаживаніе происходитъ очень медленно, но неуклонно. Сколько рѣкъ и озеръ засыпано пескомъ, сколько цвѣтущихъ селъ уничтожено горными обвалами; по утвержденію геологовъ Альпы, эти высочайшія Европейскія горы, рано или поздно будутъ „снесены“.

Противъ этой теоріи сглаживанія можно сдѣлать возраженіе. Иногда происходятъ явленія, при которыхъ имѣющіяся неровности не уменьшаются, а напротивъ того еще болѣе увеличиваются. Прежде всего надо вспомнить о дѣятельности человѣка, который при всякой постройкѣ, имъ сооружаемой, поднимаетъ на высоту матеріалъ. Но и сама природа нерѣдко дѣйствуетъ въ этомъ смыслѣ; укажемъ лишь на выдающіяся явленія этого рода: при дѣятельности вулкановъ лава и камни выбрасываются изъ нѣдръ земли; совершенно регулярно изъ года въ годъ вода океановъ въ видѣ пара поднимается вверхъ. Поэтому надо различать два класса явленій противоположныхъ характеровъ, которыя можно назвать одни *свободными*, а другія *принужденными* явленіями; при чемъ свободныя явленія суть тѣ, которыя совершаются „сами собою“, собственными силами, а принужденныя происходятъ только съ посторонней помощью; въ одномъ изъ вышеприведенныхъ примѣровъ оказываетъ эту помощь человѣкъ, въ другомъ—упругость имѣющихся внутри земли паровъ, въ третьемъ—солнечная теплота.

Всѣ свободные процессы ведутъ непремѣнно къ сглаживанію неровностей; принужденные процессы этого конечно не дѣлаютъ, зато требуютъ посторонней помощи, и отсюда возникаетъ

усложненіе, которое сначала мѣшаетъ намъ составить правильное мнѣніе о тенденціи этихъ процессовъ.

До сихъ поръ мы говорили о движеніи матеріи и о происходящемъ оттого сглаживаніи неровностей. Но подобное же имѣетъ мѣсто и въ другихъ областяхъ, напр. въ теплотѣ. Важнѣйшіе два тепловыхъ процесса суть излученіе тепла и теплопроводность. Горячее солнце лучеиспусканіемъ отдаетъ теплоту болѣе холодной землѣ, а земля въ свою очередь отдаетъ избытокъ тепла окружающей воздушной оболочкѣ. Если металлическій стержень нагрѣть съ одного конца (процессъ, который мы должны совершить принудительно) и затѣмъ предоставить его самому себѣ, то теплота передается съ нагрѣтаго конца къ холодному, при чемъ первый постепенно охлаждается, а второй нагрѣвается, и такимъ образомъ происходитъ выравниваніе температуръ.

Обобщая наши разсужденія и примѣняя ихъ къ сглаживанію неровностей почвы, упругостей, температуры и т. д., мы усматриваемъ, что и принудительные процессы подчиняются этому закону. Ибо если при изверженіи вулкана тяжелыя массы—вопреки стремленію сгладить неровности почвы—поднимаются, зато внутри земли сглаживаются неровности упругости, что, можетъ быть, еще важнѣе. А при нагрѣваніи металлическаго стержня? Оно совершается при помощи пламени газа, которое позволяетъ сгорать свѣтильному газу, находящемуся въ состояніи напряженія. Итакъ мы видимъ, что все проникнуто тенденціею къ сглаживанію—непосредственному или посредственному. Если, благодаря обстоятельствамъ, сглаживаніе уже совершилось, то болѣе ничего не происходитъ, господствуетъ *равновѣсіе*; если же не все еще сглажено, то *происходитъ* нѣчто и при томъ такъ, что неровности сглаживаются все болѣе и болѣе.

Недавно введенная очень выразительная номенклатура выяснитъ намъ соотношенія, о которыхъ идетъ рѣчь. Представимъ себѣ явленіе, которое бы непрерывно продолжалось безъ ослабленія; такой процессъ мы назовемъ *консервативнымъ*; явленіе же, которое постепенно ослабѣваетъ и стремится къ конечному состоянію, къ равновѣсію, мы будемъ называть *конечнымъ* процессомъ. Стремленіе къ сглаживанію, о которомъ мы говорили выше, показываетъ, что строго консервативныхъ процессовъ вообще не существуетъ, что вращеніе земли около ея оси или обращеніе ея около солнца также, хотя чрезъ гораздо болѣе долгое вре-

мя, прекратятся, какъ прекращаются качанія маятника, звучаніе камертона или біенія сердца.

Можетъ быть мнѣ скажутъ: да мы давно знаемъ, что perpetuum mobile невозможно. Но тутъ разумѣется нѣчто иное; здѣсь говорится не о томъ, что человѣкъ умретъ, если онъ перестанетъ ѣсть, но что даже при нормальномъ питаніи его жизни положенъ предѣлъ. Невозможность perpetuum mobile безъ соотвѣтствующаго питанія есть слѣдствіе закона сохраненія энергіи; теперь я утверждаю, что—даже при тщательномъ питаніи машины—ей нельзя обезпечить вѣчнаго существованія и что это вовсе не есть слѣдствіе закона сохраненія энергіи. Существованіе всякой вещи имѣетъ свой предѣлъ, существованіе калильной лампы и паровой машины, растенія и животнаго; можетъ-ли одна только вселенная, какъ цѣлое, быть вѣчною?

Подобно тому, какъ признаніе невозможности perpetuum mobile въ старомъ смыслѣ привело къ закону сохраненія энергіи, такъ признаніе, что невозможенъ perpetuum mobile въ этомъ новомъ смыслѣ, наведетъ насъ на слѣдъ второго принципа—закона измѣненій или закона сглаживанія.

9.

Вопросъ о характерѣ всѣхъ явленій природы столь важенъ, что стоитъ имъ заняться подробнѣе; мы разсмотримъ его съ другой точки зрѣнія, а затѣмъ еще и съ третьей. Начнемъ опять съ простого частнаго случая. Представимъ себѣ большую ванну съ холодною водою и опустимъ въ нее малый сосудъ съ горячею водою; результатомъ будетъ то, что вода въ ваннѣ нѣсколько нагрѣется; если сначала сосудъ имѣлъ температуру 95^0, а ванна 5^0, то въ концѣ ея температура будетъ напр. 6^0. По закону сохраненія энергіи полное количество тепла остается неизмѣняемымъ при этомъ процессѣ смѣшенія; теперь въ ваннѣ столько же эрговъ, сколько прежде было въ ваннѣ и въ сосудѣ. Но тогда какъ прежде энергія была сконцентрирована въ сосудѣ, теперь она разсѣяна въ большомъ объемѣ ванны. Разсмотрѣнный процессъ можно поэтому характеризовать какъ *разсѣяніе энергіи.* Мы постоянно встрѣчаемъ въ природѣ подобныя разсѣянія энергіи: разсѣянія движенія, тепла или свѣта, электричества или магнитизма. Явленіе, которое главнымъ образомъ влечетъ за собою разсѣяніе энергіи движенія, есть треніе; когда

тѣло движется, то вслѣдствіе тренія оно приводитъ въ движеніе окружающее, хотя бы это вовсе и не было желательно. Корабль увлекаетъ за собою часть омывающей его воды, воздушный шаръ—часть окружающаго воздуха, конечно за свой счетъ—разсѣяніе энергіи. Если мы хотимъ нагрѣть что-нибудь, то волей-неволей вмѣстѣ съ тѣмъ нагрѣваемъ значительную окружающую область—разсѣяніе энергіи. Когда—для образованія электрическихъ токовъ въ динамомашинѣ—мы намагничиваемъ ея желѣзо, то не можемъ избѣжать того, чтобы нѣкоторая часть магнитной энергіи не терялась въ воздухѣ—разсѣяніе энергіи.

Если мы точнѣе формулируемъ замѣчательныя обстоятельства явленія, которыя разсмотрѣли, то придемъ къ третьему положенію нашего изслѣдованія. Что происходитъ съ энергіею, когда она разсѣивается? Въ количествѣ она не измѣняется, это навѣрное; но также несомнѣнно, что при этомъ что-то въ ней измѣняется. Для поясненія, что тутъ нѣтъ противорѣчія, разсмотримъ число 12, которое всегда остается 12, хотя бы я его образованіе 1×12 измѣнилъ въ 2×6 или въ 3×4; въ этомъ смыслѣ 12 называется произведеніемъ, а 2 и 6 или 3 и 4 его множителями. Въ этомъ случаѣ оба множителя, изъ котораго складываютъ произведеніе, имѣютъ одинакій характеръ (хотя и разныя величины), и то и другое—числа; но дѣло принимаетъ иной оборотъ, когда числа имѣютъ опредѣленныя значенія. Возьмемъ въ примѣръ книгоиздательскіе разсчеты. Пусть изданіе стоитъ 3000 рублей, при чемъ, какъ извѣстно, безразлично какое число экземпляровъ напечатать, ибо бо́льшая часть расходовъ падаетъ на гонораръ, наборъ и т. п. Эти расходы могутъ быть покрыты различно—продажею или 100 экземпляровъ по 30 руб., или 300 экземпляровъ по 10 руб., или 1000 экземпляровъ по 3 руб.; здѣсь одинъ изъ множителей есть цѣна книги, другой—число покупателей. Книги, ожидающія большое число покупателей, могутъ быть продаваемы дешево, другія должны продаваться дороже. Слѣд. тутъ оба фактора имѣютъ различныя значенія; одинъ характеризуетъ число покупателей, другой—цѣну одного экземпляра; при 1000 экземплярахъ по 3 рубля издержки возмѣщаются распространеніемъ товара, при 100 экз. по 30 руб. онѣ возмѣщаются напряженіемъ цѣны.

Совершенно аналогичное происходитъ въ нашемъ опытѣ съ водою: въ сосудѣ воды мало, но она горяча; въ ваннѣ воды мно-

го, но она мало нагрѣта; въ сосудѣ энергія напряжена, въ ваннѣ —распространена.

Энергію можно вообще разсматривать, какъ произведеніе двухъ факторовъ, изъ коихъ одинъ считать за *факторъ распространенія*, а другой—за *факторъ напряженія*; первый *количественный факторъ*, второй—*качественный*; эти факторы противоположны одинъ другому. Эту противоположность въ духовномъ смыслѣ имѣютъ въ виду, когда поговоркою „multum, non multa" внушаютъ учащемуся заботиться о качествѣ, а не объ объемѣ познаній.

Не всегда бываетъ легко указать эти факторы, изъ которыхъ составляется энергія, и чаще всего потому, что произведеніе (какъ и число 12) можно различно разложить на множители и мы часто не знаемъ какому изъ этихъ разложеній отдать предпочтеніе. Объ этихъ затрудненіяхъ я не буду много говорить. Простымъ примѣромъ можетъ служить энергія электрическаго тока, въ которой количественнымъ факторомъ служитъ количество электричества (измѣряемое на практикѣ амперъ-часами), а качественнымъ факторомъ напряженіе (измѣряемое вольтами); если электрическую энергію хотятъ передать на разстояніе, то въ принципѣ безразлично, будемъ-ли мы посылать сильный токъ слабаго напряженія или слабый токъ сильнаго напряженія; по экономическимъ соображеніямъ выбираютъ послѣднее.

Съ помощью этихъ понятій стремленіе всѣхъ явленій природы можно характеризовать тѣмъ, что энергія возростаетъ въ распространеніи, но уменьшается въ напряженіи. При свободныхъ процессахъ это ясно само собою; при принужденныхъ процессахъ это тоже будетъ вѣрно, если только обратить вниманіе, что тутъ берется въ помощь посторонняя энергія, которую надо принимать въ разсчетъ. Разсѣивается энергія само собою, но собираться вновь она можетъ только по принужденію и подъ условіемъ улучшенія ея качества; она можетъ быть принуждена и улучшена лишь чрезъ разсѣяніе посторонней, взятой на помощь энергіи. Это аналогично тому, что разбить вазу я могу своими руками и даромъ, но для возстановленія ея потребуются ловкія руки и затрата денегъ.

Можно-ли вообще всему, происходящему въ природѣ, давать обратное теченіе? Чтобы отвѣтить отрицательно на такой вопросъ, нѣтъ надобности обращаться къ явленіямъ высшаго порядка, какъ жизненные процессы; можно ограничиться совер-

шенно простыми. Если вспомнимъ о теплой водѣ ванны, то будемъ имѣть отличный примѣръ: изъ нея никто не въ состояніи извлечь ту горячую воду, которая первоначально была въ сосудѣ. Поэтому говорятъ о *необращаемыхъ* процессахъ, которые противополагаются *обращаемымъ*. Подъ послѣдними мы разумѣемъ такіе, обращеніе которыхъ въ идеѣ хотя и вполнѣ возможно, но въ дѣйствительности встрѣчаетъ большія затрудненія. Горохъ изъ мѣшка легко разсѣить по полю, но опять собрать всѣ горошины въ мѣшокъ, очень затруднительно, и можно смѣло утверждать, что при этомъ многія изъ горошинъ пропадутъ, затерявшись въ бороздахъ поля. Обращаясь къ дѣйствительнымъ явленіямъ природы или техники, мы найдемъ, что многіе процессы можно обратить, но что при этомъ полнаго обращенія нельзя достичь. Каждый поршень машины постоянно обращаетъ свое движеніе, двигаясь то впередъ, то назадъ; но нѣкоторыя связанныя съ нимъ побочныя явленія не обращаются, напр. изнашиваніе матеріала, которое не компенсируется при противоположныхъ движеніяхъ, а напротивъ того суммируются: частицы, которыя отрываются при движеніи впередъ, не приростаютъ при движеніи назадъ; напротивъ, тутъ отрываются новыя. Такіе процессы, какъ изнашиваніе, нагрѣваніе, теплопроводность и т. п., и обусловливаютъ несовершенство обращаемыхъ явленій.

Итакъ вообще всѣ процессы необращаемы или обращаемы лишь очень несовершенно. Что совершилось, то совершилось, и разсѣянная при этомъ энергія не можетъ быть вполнѣ собрана.

До сихъ поръ мы разсматривали движеніе, какъ таковое, явленія тепла, какъ таковыя и т. д. Но еще интереснѣе явленія, въ которыхъ энергія мѣняетъ свою форму, напр. когда теплота превращается въ движеніе; такіе процессы, какъ совершающіеся между прочимъ въ паровой машинѣ, мы теперь и разсмотримъ.

Паровая машина имѣетъ своимъ назначеніемъ тепловую энергію водяныхъ паровъ превращать въ движеніе. При этомъ имѣетъ мѣсто законъ сохраненія энергіи, такъ что энергія не теряется и не создается. Но если бы мы вздумали это толковать такъ, что на затраченную теплоту машина даетъ эквивалентную работу, т. е. 428 kgm. на каждую калорію, то дѣйствительность сильно разочаровала бы насъ. Машина даетъ гораздо меньшую работу, и возникаетъ вопросъ: куда дѣлся остатокъ? Мы достаточно подготовлены для того, чтобы отвѣтить: остатокъ раз-

сѣянъ. Часть этого остатка передана въ матеріалъ машины и пошла на его изнашиваніе, на его нагрѣваніе и т. д.; это старая пѣсня о необращаемости побочныхъ процессовъ. Впрочемъ если даже отвлечься отъ этихъ процессовъ и дѣятельность машины разсматривать, какъ обращаемый процессъ, все-таки будетъ еще значительный остатокъ, который не превращается въ работу, а въ видѣ тепла же низшей температуры передается холодильнику или, гдѣ его нѣтъ, въ окружающій воздухъ, замѣняющій холодильникъ. Можно доказать, что тепловая машина не можетъ функціонировать съ однимъ нагрѣвателемъ; она непремѣнно должна имѣть и холодильникъ. Одна часть энергіи котла превращается въ работу, другая, въ видѣ тепла, передается холодильнику. Та часть доставляемой машинѣ энергіи, которая превращается въ работу, называется коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія, остатокъ можно назвать коэффиціентомъ разсѣянія. Много старанія было приложено для замѣны паровой машины другими, въ которыхъ коэффиціентъ полезнаго дѣйствія былъ бы увеличенъ на счетъ коэффиціента разсѣянія. Для насъ важно—и это въ принципѣ самое главное, что коэффиціентъ полезнаго дѣйствія никогда не можетъ возрости до 100%. Безъ разсѣянія энергіи дѣло и здѣсь не обходится.

Въ заключеніе упомянемъ три имени. Первый, кто установилъ и научно формулировалъ направленіе процессовъ природы, былъ знаменитый Сади Карно; это онъ сдѣлалъ еще въ 1824 г., т. е. въ то время, когда всѣ (и онъ самъ) считали теплоту за нѣчто вещественное; такимъ образомъ можно, пожалуй, сказать, что принципъ тенденціи старѣе принципа сохраненія. Но вслѣдствіе того представленія Карно были ошибочны: онъ сравнивалъ теплоту съ водою и полагалъ, что работа совершается лишь тогда, когда онѣ падаютъ съ высшаго уровня на низшій или съ высшей температуры на низшую; это положеніе вѣрно; далѣе Карно полагалъ, что онѣ совершаютъ работу, не уменьшаясь количественно; это вѣрно для воды, но невѣрно для тепла. Нельзя сравнивать теплоту и воду; можно сравнивать теплоту и энергію воды; при совершеніи работы и та и другая уменьшаются. Исправленіе принципа Карно въ этомъ смыслѣ было сдѣлано почти одновременно (1858—1860) Клаузіусомъ въ Германіи и В. Томсономъ (лордомъ Кельвиномъ) въ Англіи.

10.

Мы составили себѣ представленіе о направленіи всѣхъ явленій, о принципѣ, по которому все происходитъ въ мірѣ. Остается ввести понятіе, подъ девизомъ котораго стояли бы всѣ измѣненія въ мірѣ, какъ сохраненіе стоитъ подъ девизомъ „энергіи". Названіе этому понятію придумалъ Клаузіусъ. Какъ понятіе, такъ и названіе въ одномъ отношеніи удачны, въ другомъ —неудачны.

Коэффиціентъ разсѣянія энергіи, ея количественный факторъ называется *энтропіею*. Съ помощью этого понятія мы получаемъ слѣдующій мірового значенія законъ: *энтропія вселенной непрерывно возростаетъ* или *энтропія вселенной стремится къ maximum*.

Въ переводѣ энтропія означаетъ „возвращеніе внутрь"; въ какомъ же отношеніи это названіе къ коэффиціенту разсѣянія? Для разъясненія начнемъ съ примѣра: одна шахта годна для разработки, другая негодна и не потому, чтобы въ ней не было минеральныхъ богатствъ, а потому, что она недоступна или трудно доступна. Совершенно тоже и относительно энергіи: двѣ энергіи могутъ по числу эрговъ быть равными, но одна изъ нихъ можетъ быть годна для эксплуатаціи, другая негодна для этого и потому не имѣетъ никакой цѣны. Съ горшкомъ кипящей воды можно привести въ дѣйствіе хотя бы игрушечную паровую машину, а съ большою ванною воды комнатной температуры нельзя произвести никакой работы. Въ Атлантическомъ океанѣ соедержится такое огромное количество энергіи въ формѣ тепла, что—по теоріи, т. е. по принципу сохраненія—ею можно было бы заставить работать всѣ паровыя машины цѣлаго свѣта; а въ дѣйствительности мы не можемъ воспользоваться этою энергіею, ибо она разсѣяна, выравнена: къ „котлу" океану не достаетъ холодильника. При дѣйствіи паровой машины, какъ мы видѣли, часть доставляемой ей теплоты высокой температуры превращается въ работу, а остатокъ обезцѣнивается въ теплоту низкой температуры. Вмѣсто разсѣянія энергіи мы можемъ говорить объ обезцѣниваніи ея. „Возвращеніе внутрь" и обозначаетъ именно такое обезцѣниваніе энергіи; въ этомъ отношеніи терминъ „энтропія" выбранъ удачно. Неудаченъ же онъ въ томъ отношеніи, что—благодаря своему свойству увеличиваться—энтропія легко можетъ ввести въ заблужденіе или затруднить вѣрное представленіе. Было бы лучше дать особое названіе не количе-

ственному, а качественному фактору энергіи, который наименовать соотвѣтственно „эктропіею" (возвращеніе наружу); и тогда нашъ принципъ формулировался бы такъ: *эктропія вселенной непрерывно уменьшается, стремится къ minimum.* Невыгодное направленіе всѣхъ процессовъ природы получило бы тогда прямое и положительное выраженіе.

Можетъ показаться, что въ ученіи объ энергіи—съ ея постоянствомъ съ одной стороны и разсѣяніемъ съ другой—заключается какое-то противорѣчіе: или энергія сохраняется, или она обезцѣнивается. Эргъ энергіи движенія и эргъ тепла либо одинаковы и тогда равноцѣнны, либо они разноцѣнны и тогда неравны; ибо эргъ все-таки остается эргомъ. Тутъ невольно вспоминается вопросъ, который въ шутку задаютъ дѣтямъ: что тяжеле: фунтъ свинца или фунтъ пуха? Но изъ предыдущаго вытекаетъ, что это противорѣчіе лишь кажущееся и что равенство величинъ и различіе въ ихъ цѣнности совершенно совмѣстимы. Для разъясненія приведемъ еще два сравненія.

Одно изъ нихъ находится въ связи съ прежде выработаннымъ представленіемъ, что природа застрахована отъ всякой потери энергіи, что всякая потеря возмѣщается; такъ потерянная работа возмѣщается напр. теплотою; когда камень падаетъ на землю, его живая сила исчезаетъ, но зато почва нѣсколько нагрѣвается и эта теплота есть эквивалентное возмѣщеніе потерянной живой силы; это возмѣщеніе не особенно удовлетворительно въ томъ смыслѣ, что съ помощью теплоты почвы мы не можемъ возстановить живую силу камня. Это подобно тому, какъ если бы у меня сгорѣли драгоцѣнные рукописи, и эту потерю мнѣ возмѣстили соотвѣтствующею страховою преміею: страховое общество не можетъ сдѣлать ничего больше и все-таки мнѣ оказана плохая помощь, такъ какъ съ помощью денегъ я не могу возстановить изъ пепла моей рукописи, которая безвозвратно погибла. Такъ и въ природѣ эквивалентное возмѣщеніе не мѣшаетъ тому, чтобы полезная энергія безвозвратно терялась, чтобы эктропія все уменьшалась, а энтропія все возростала.

Другой ежедневно и повсюду происходящій процессъ, при которомъ сохраненіе и обезцѣниваніе идутъ рука объ руку, есть торговля: цѣна есть эквивалентъ товара и все-таки каждый изъ контрагентовъ имѣетъ наживу (иначе бы онъ не занимался торговлею). Сумма объективныхъ цѣнностей не зависитъ отъ обмѣна,

но сумма субъективныхъ цѣнностей возростаетъ. Въ природѣ тоже непрерывно происходитъ обмѣнъ цѣнностей, и при этомъ болѣе цѣнное всегда обмѣнивается на менѣе цѣнное, вслѣдствіе чего природа постепенно бѣднѣетъ.

11.

Въ заключеніе, оглянемся на добытыя свѣдѣнія, чтобы установить взглядъ на будущее.

Количественно энергія неизмѣняема, но она постоянно мѣняетъ свое состояніе и качество, и въ этихъ измѣненіяхъ нельзя не замѣтить преобладающей наклонности—наклонности къ обезцѣниванію. Обезцѣниваніе происходитъ даже въ предѣлахъ одной формы, напр. въ области теплоты: теплота низкой температуры имѣетъ меньшую цѣнность, чѣмъ такое же число эрговъ теплоты высокой температуры; эта меньшая цѣнность обусловливается тѣмъ, что теплота высокой температуры, сама собою превращается въ теплоту низшей температуры, но обратное превращеніе совершается лишь съ пожертвованіями, а при извѣстныхъ условіяхъ и вовсе не осуществимо. Особенно разноцѣнны различные роды энергіи, напр. механическая и химическая, электрическая и тепловая; относительно различныхъ формъ энергіи можно установить нѣчто въ родѣ „табели о рангахъ". Составленіе такой табели представляетъ, конечно, не мало затрудненій и нельзя прямо сказать въ какомъ соотношеніи находятся между собою механическая и химическая энергія, электрическая и магнитная, но одно можно утверждать: табель оканчивается теплотою, какъ низшимъ чиномъ; превращаемость теплоты наименѣе совершенна. Теплота низкой температуры есть нежелательный „побочный продуктъ" всѣхъ процессовъ, а необращаемость побочныхъ продуктовъ была камнемъ преткновенія столькихъ промышленныхъ предпріятій. Какъ же стоитъ это дѣло въ томъ „промышленномъ предпріятіи", которымъ мы всѣ особенно заинтересованы, во вселенной?

Энергія остается постоянною, а энтропія возростаетъ Повсюду разсѣяніе, сглаживаніе и обезцѣниваніе. Уголь сгораетъ и даетъ золу, изъ которой никогда не получится опять уголь; горы разрушаются и не складываются вновь; источники тепла излучаютъ ее и никогда не пополняются. Не долженъ-ли наступить моментъ, когда все станетъ энтропіею и ничего не оста-

нется отъ эктропіи? Если при нѣкоторыхъ принужденныхъ процессахъ энергія и концентрируется, диффсренцируется или поднимается, то это только немного задерживаетъ общій процессъ, но не останавливаетъ его; на этотъ счетъ нечего обманываться! Состояніе, которое затѣмъ наступитъ, будетъ всеобщій покой. Тогда для человѣчества настанутъ муки Тантала: вокругъ повсюду энергія, но пользоваться ею нельзя!

Къ счастью можно привести соображенія, которыя нѣсколько смягчаютъ грозность такой перспективы, и прежде всего слѣдующее. Процессы сглаживанія могутъ имѣть мѣсто только въ томъ случаѣ, если имѣются противоположности; и чѣмъ сильнѣе противоположности, тѣмъ быстрѣе идетъ сглаживаніе, чѣмъ слабѣе противоположности, тѣмъ медленнѣе происходитъ сглаживаніе. Но вслѣдствіе самаго сглаживанія противоположности постепенно смягчаются. Такимъ образомъ тотъ міровой процессъ, направленіе котораго открываетъ намъ столь печальныя перспективы, самъ собою все болѣе и болѣе замедляется и конецъ его лежитъ въ невидимой дали времени!

Электричество и матерія

О. Лоджа[1].

Избранный мною предметъ чрезвычайно обширенъ и представляетъ въ настоящее время особый интересъ, такъ какъ нѣкоторыя изъ основныхъ свойствъ матеріи могутъ быть представлены въ совершенно новомъ освѣщеніи. Къ этимъ „основнымъ свойствамъ“ относятся прежде всего сцѣпленіе, затѣмъ тяготѣніе и наконецъ инерція. Что касается тяготѣнія, то оно и понынѣ остается совершенно непонятнымъ. Установлено, какъ эмпирическій фактъ, что тѣло имѣетъ вѣсъ и что два тѣла вза-

---

[1]) Переводъ съ англійскаго: Electricity and Matter, a lecture delivered at Bedford College for Women, on Febr. 5, 1903, by Sir Oliver Lodge, F. R. S. (Nature, № 1741).

имно притягиваются съ чрезвычайно малою силою, если тѣла невелики, и съ очень большою силою, если тѣла велики, напр. планеты и солнце; но причина тяготѣнія неизвѣстна, и пока нѣтъ даже надежды, чтобы ее скоро разъяснили. Лѣтъ десять тому назадъ сцѣпленіе относилось къ той же категоріи вопросовъ; но теперь мы, повидимому, находимся наканунѣ того дня, когда оно выдастъ свою тайну. Наиболѣе удивительное основное свойство матеріи, которое однако мы въ нѣкоторой степени начинаемъ понимать, это инерція. Терминъ очень популярный, но не всегда ясно понимаемый. Я объясню его значеніе Инерціею называютъ способность тѣла двигаться противъ силы. Оставивъ пушку, ядро движется по *инерціи*; въ дуло оно опускается силою, но, выброшенное взрывомъ пороха, въ воздухѣ ядро движется противъ силы сопротивленія, благодаря своей инерціи, которую въ этомъ случаѣ называютъ иногда живою силою. Вслѣдствіе *инерціи* вода поднимается вверхъ; иногда утверждаютъ, что вода не можетъ течь вверхъ, но это ошибочно. Вотъ теплота такъ та дѣйствительно не можетъ течь вверхъ (т. е. отъ менѣе нагрѣтаго тѣла къ болѣе нагрѣтому) и всегда течетъ только внизъ (т. е. отъ болѣе нагрѣтаго тѣла къ менѣе нагрѣтому); теплотѣ нельзя сообщить толчка, и она не можетъ подниматься вслѣдствіе собственной живой силы, ибо теплота не можетъ обладать живою силою; теплота не матерія: она движется только пока ее толкаютъ и останавливается въ тотъ моментъ, когда устраняется сила. Это относится къ теплотѣ, но не относится къ веществу какого бы то ни было рода, не относится къ тому, что обладаетъ инерціею. Въ фонтанѣ вода поднимается вверхъ вслѣдствіе сообщенной ей начальной скорости; мячъ поднимается, когда его бросаютъ вверхъ: движущая сила болѣе не дѣйствуетъ, но само движеніе продолжается. Если U-образную трубку, наполненную до половины водою, сначала наклонить, а затѣмъ поставить вертикально, то уровни воды въ колѣнахъ трубки не сразу сравняются, а сперва совершатъ рядъ колебаній. Если маятникъ отклонить и предоставить самому себѣ, то прежде, чѣмъ успокоиться въ отвѣсномъ положеніи, онъ совершитъ большее или меньшее число колебаній.

Колебанія, какъ намъ извѣстно, происходятъ и съ электричествомъ, напр. при разряженіи лейденской банки. Электричество не просто переходитъ изъ сильнѣе заряженнаго проводника въ слабѣе заряженный и затѣмъ останавливается, но течетъ далѣе

и заряжаетъ сильнѣе тотъ проводникъ, который былъ сначала заряженъ слабѣе, течетъ назадъ и опять впередъ совершенно подобно тому, какъ колеблется вода въ трубкѣ; все происходитъ такъ, какъ если бы электричество обладало свойствомъ, напоминающимъ инерцію. Если бы къ этому заключенію я пришелъ двадцать пять лѣтъ тому назадъ, то сказалъ бы, что это механическая аналогія, что тутъ кажущаяся инерція, и наведенную электродвижущую силу уподобилъ бы инерціи матеріи. Но теперь я скажу, что электричество обладаетъ *дѣйствительною* инерціею, столь же дѣйствительною, какъ инерція матеріи; я пойду еще дальше и скажу, что, по всей вѣроятности, нѣтъ иной инерціи, кромѣ электрической, и что инерцію самой матеріи слѣдуетъ считать электрическою инерціею. Другими словами мы постепенно приходимъ къ *электрической теоріи вещества*, въ которой свойства вещества объясняются тѣмъ, что намъ извѣстно касательно электричества.

Людямъ, не изучавшимъ физики, можется показаться страннымъ, что свойства матеріи мы хотимъ объяснять свойствами электричества, какъ будто объ электричествѣ мы знаемъ больше, чѣмъ о матеріи. А между тѣмъ это именно такъ: свойства электричества лучше изслѣдованы и объяснены, чѣмъ инерція матеріи, которая остается совершенно непонятною. Мы знаемъ только слѣдующее: подъ дѣйствіемъ силы тѣло движется съ постепенно возростающею скоростью; если же на движущееся тѣло дѣйствуетъ сопротивляющаяся сила, то оно не тотчасъ же начинаетъ двигаться по направленію этой силы, но движеніе его сначала замедляется, затѣмъ тѣло останавливается и наконецъ начинаетъ двигаться въ противоположную сторону. Нѣкоторыя сопротивляющіяся силы, какъ напр. сила тренія, способны только задерживать движеніе. На первый законъ Ньютона въ учебникахъ часто приводятъ неудачный примѣръ—движеніе камня по поверхности льда; этотъ примѣръ неудаченъ, ибо во все время такого движенія дѣйствуетъ сопротивленіе. Для иллюстраціи перваго закона лучше привести такой случай, въ которомъ двѣ силы уравновѣшиваются и движущаяся сила какъ разъ преодолѣваетъ треніе, напр. когда лошадь тянетъ лодку или локомотивъ везетъ поѣздъ; когда лодка или поѣздъ приходятъ въ движеніе, то, значитъ, дѣйствующая на нихъ сила больше сопротивленія и скорость ихъ постепенно увеличивается; если они останавливаются, то сопротивленіе больше движущей

силы; но, когда они движутся съ постоянною скоростью, сила и сопротивленіе въ точности уравновѣшиваются и равнодѣйствующая силъ равна нулю; тогда движущееся тѣло подчиняется первому закону Ньютона, и лодка и поѣздъ движутся исключительно только по своей инерціи.

Электричеству, какъ мы уже сказали, также присуще свойство совершенно аналогичное инерціи; оно называется *самонаведеніемъ* и его законы были давно открыты Ленцомъ; этотъ законъ гласитъ, что всякое измѣненіе въ токѣ вызываетъ сопротивленіе движенію. Пусть имѣется токъ опредѣленной величины; если почему-нибудь токъ измѣняется, то этимъ самымъ вызывается сила, противодѣйствующая этому измѣненію тока и стремящаяся удержать его прежнюю величину. Это свойство совершенно аналогично инерціи; можно доказать, что это есть дѣйствительно инерція; она, какъ показало математическое изслѣдованіе, обусловливается свойствомъ заряженнаго тѣла, находящагося въ движеніи.

Представимъ себѣ заряженную сферу; пока она въ покоѣ, мы имѣемъ электростатическое явленіе; если же она приведена въ движеніе, то мы имѣемъ явленіе электрическаго тока. Но токъ бываетъ окруженъ магнитными силовыми линіями, и если заряженное тѣло приведено въ движеніе, то его путь окруженъ системою силовыхъ линій, образующихъ магниткое поле. Такое магнитное поле можетъ быть очень слабымъ, но оно служитъ мѣрою тока; теперь думаютъ, что иначе магнитное поле никогда и не возникаетъ. Надо различать три случая: 1) заряженное тѣло въ покоѣ, 2) заряженное тѣло въ равномѣрномъ движеніи и 3) заряженное тѣло въ ускоренномъ движеніи; въ первомъ случаѣ мы получаемъ электростатическое явленіе, во 2-мъ—магнитное поле, въ 3-мъ имѣемъ прежде всего инерцію и затѣмъ радіацію или свѣченіе. Хотя инерція и не тождественна съ радіацiею, но какъ то, такъ и другое проявляются при ускоренномъ движеніи заряженныхъ тѣлъ. Инерція обнаруживается не только при радіаціи, но существуетъ всегда; она постоянна и не зависитъ отъ скорости, существуетъ даже въ томъ случаѣ, когда тѣло въ покоѣ. Такимъ образомъ приходимъ къ заключенію, что подобно тому, какъ электрическое поле вызывается только наэлектризованнымъ тѣломъ, такъ электрическій токъ и магнитизмъ вызываются не иначе какъ движеніемъ наэлектризованнаго тѣла, а радіація—не иначе, какъ только ускореннымъ движеніемъ

заряженаго тѣла; далѣе что единственная инерція есть инерція заряженнаго тѣла и что вѣроятно (хотя это еще не вполнѣ достовѣрно) нѣтъ другой инерціи, кромѣ электрической инерціи.

Представленіе объ электрической инерціи, какъ реальности и какъ обусловливаемой движеніемъ заряда, было выработано Дж. Дж. Томсономъ (Phil. Mag. 1881). Разсматривая свойство движущейся наэлектризованной сферы, онъ показалъ, что такое тѣло обладаетъ инерціею потому, что оно заряжено. Оказалось, что заряженное тѣло кромѣ обыкновенной массы обладаетъ еще дополнительною массою, которая прибавляется къ первой; эта дополнительная масса пропорціональна квадрату заряду и обратно пропорціональна радіусу сферы, на которой этотъ зарядъ расположенъ; иначе, эта дополнительная масса пропорціональна заряду и потенціалу. Въ свое время не придали значенія этимъ положеніямъ, вслѣдствіе трудности открыть приращеніе инерціи, обусловливаемое зарядомъ; въ случаѣ сферы замѣтныхъ размѣровъ эта добавочная электрическая инерція очень мала; если даже сфера имѣетъ размѣры атома и обладаетъ наибольшимъ зарядомъ, который можетъ быть сообщенъ атому, все-таки эта электрическая инерція представила бы не болѣе одной стотысячной доли полной инерціи атома; такъ, если инерція самаго атома = 100000, то послѣ наибольшаго заряда его инерція становится 100001; разница незначительная и ее нельзя обнаружить опытомъ. Если бы можно было имѣть малую часть атома, то его зарядъ вызвалъ бы значительную электрическую инерцію. Если бы наконецъ можно было получить электрическій зарядъ отдѣльно отъ матеріи, то онъ обладалъ бы громадною инерціею.

Электрическая инерція тѣла всецѣло зависитъ отъ его размѣровъ; она тѣмъ больше, чѣмъ меньше тѣло. Долгое время никто не помышлялъ о чемъ-либо меньшемъ, чѣмъ атомъ; принимали, что атомъ есть предѣлъ возможнаго дѣленія матеріи, и электрическая инерція представлялась не болѣе, какъ математическимъ курьезомъ. Но въ 1870 г. Круксъ обратилъ вниманіе на явленія, происходящія въ разрядныхъ трубкахъ съ чрезвычайно разрѣженнымъ газомъ, и высказалъ мысль, что въ катодныхъ лучахъ вещество находится въ „четвертомъ состояніи", отличномъ отъ твердаго, жидкаго или газообразнаго состояній. Круксу не повѣрили и надъ его четвертымъ состояніемъ не мало смѣялись. Однако позднѣе явленія въ круксовскихъ трубкахъ были предметомъ изслѣдованія многихъ ученыхъ, при чемъ ока-

залось, что Круксъ былъ совершенно правъ: вещество, изъ частичекъ котораго образуется тотъ потокъ, который мы называемъ катодными лучами, не находится ни въ твердомъ, ни въ жидкомъ, ни въ газообразномъ состояніи; оно не можетъ состоять изъ атомовъ, но оно состоитъ изъ частичекъ, которыя гораздо меньше и легче атомовъ, это ультра-атомы, изъ которыхъ, повидимому, составлены или сложены атомы. Томсонъ измѣрилъ массу этихъ частичекъ и нашелъ, что она въ тысячу разъ меньше массы атома водорода; между тѣмъ атомъ водорода самая малая часть вещества, которая была извѣстна до сихъ поръ. Далѣе Томсонъ сдѣлалъ слѣдующее важное наблюденіе: будетъ-ли круксовская трубка наполнена водородомъ, кислородомъ, углекислотою или инымъ газомъ, частички, на которыя—подъ вліяніемъ электрическихъ дѣйствій—распадаются эти газы, всегда тождественны, т. е. независимы отъ природы газа Отсюда-то и является гипотеза, пока еще невполнѣ провѣренная, что матеріальные атомы составлены изъ этихъ частичекъ или электроновъ, какъ ихъ назвалъ Стоней. Послѣдній назвалъ такъ заряды электролитическихъ іоновъ, т. е. заряды, связанные съ веществомъ; но въ круксовскихъ трубкахъ эти заряды отрываются отъ атомовъ и свободно летятъ; прежде и не думали, чтобы электричество могло существовать отдѣльно отъ матеріи. Въ жидкомъ проводникѣ (электролитѣ) зарядъ и атомъ, образуя іонъ, движутся вмѣстѣ, здѣсь они соединены неразрывно; на электродѣ электронъ передается металлу и движется вдоль проволоки какимъ-нибудь инымъ способомъ, но, во все время своего движенія, онъ неизмѣнно соединенъ или связанъ съ атомомъ или же передается отъ одного атома къ другому. Въ газахъ дѣло происходитъ иначе; здѣсь какъ будто заряды сорваны съ частичекъ, здѣсь электричество и вещество диссоціированы. Эти заряды, лишенные тѣлесности, летятъ чрезъ разрядную трубку съ страшною скоростью. Оказалось возможнымъ не только измѣрить массы этихъ частичекъ, но и скорость ихъ, которая оказалась того же порядка, какъ скорость свѣта, именно около 1/30, иногда около 1/10 скорости свѣта. Предметъ, движущійся съ такою огромною скоростью (въ нѣсколько тысячъ километровъ въ секунду), обладаетъ большимъ количествомъ энергіи и производитъ значительное дѣйствіе когда онъ задерживается.

Для радіаціи какого бы то ни было рода необходимо ускореніе; чѣмъ больше ускореніе, тѣмъ сильнѣе радіація. Если же-

лаемъ имѣть очень сильную радіацію, надо взять быстро движущееся наэлектризованное тѣло и затѣмъ вдругъ остановить его совершенно; это именно и дѣлается при образованіи X-лучей, а также и тогда, когда на пути катодныхъ лучей располагаютъ минералы. Въ данномъ случаѣ движутся чрезвычайно малыя частички, инерція коихъ очень мала; впрочемъ какъ бы мала ни была масса тѣла, но разъ она движется со скоростью свѣта, то должна обладать страшною энергіею; такъ энергія одного грамма, движущагося со скоростью свѣта, достаточна для того, чтобы весь британскій флотъ поднять на вершину Бенъ-Невиса. Мы сказали, что явленія въ круксовскихъ трубкахъ обусловливаются движеніемъ электрическихъ частичекъ; для доказательства стоитъ лишь обнаружить, что магнитъ дѣйствуетъ на катодные лучи. Смотря на происходящее внутри круксовской трубки, мы наблюдаемъ само электричество: здѣсь электричество изолировано и совершенно отдѣлено отъ матеріи.

Повидимому, всѣ электрическія явленія обусловливаются этими электронами. Въ случаѣ электропроводности въ газахъ то, что мы наблюдаемъ, есть потокъ этихъ частичекъ—свободное движеніе электроновъ. Въ жидкихъ проводникахъ токъ обусловливается медленнымъ передвиженіемъ электроновъ, нагруженныхъ матеріальными атомами; здѣсь они должны прокладывать себѣ путь чрезъ окружающую ихъ жидкость и вмѣсто того, чтобы пробѣгать въ секунду сотни тысячъ километровъ, перемѣщаются не болѣе фута въ часъ; скорость ихъ зависитъ отъ паденія потенціала. Внутри твердаго проводника или металла матеріальныя частицы не могутъ двигаться на большія разстоянія, какъ это онѣ дѣлаютъ въ жидкости; здѣсь онѣ могутъ лишь совершать небольшія колебанія около постоянныхъ положеній равновѣсія; когда же электроны перемѣщаются по металлическому проводнику, то они передаются отъ одного атома къ другому: каждый атомъ получаетъ электронъ и въ то же время передаетъ его или другой электронъ сосѣднему атому.

Еще одно слово о радіаціи. Если проводимость объясняется такимъ образомъ, то какъ объяснить радіацію? До самаго послѣдняго времени было очень трудно отвѣтить на этотъ вопросъ. Атомы тѣла колеблются; радіація—это волны въ эѳирѣ. Прежде представляли, что колеблющіеся атомы вещества вызываютъ волны въ эѳирѣ совершенно также, какъ звучащій колоколъ вызываетъ волны въ воздухѣ. Но сдѣланные мною опыты

показываютъ, что матерія и эѳиръ не имѣютъ никакой связи между собою; одна же матерія не можетъ образовать такихъ волнъ. Необходимо принять, что тутъ дѣло не столько въ колебаніяхъ матеріи, сколько въ колебаніяхъ ея заряда, и что радіація обусловливается не самими атомами, а находящимися въ нихъ электронами. Радіація происходитъ лишь при ускоренныхъ движеніяхъ электроновъ; если атомъ несетъ зарядъ, двигаясь поступательно, то нѣтъ радіаціи. Пока катодные лучи движутся равномѣрно и въ одномъ направленіи, до тѣхъ поръ ничего не видно; но если они ускоряются, замедляются или останавливаются или наконецъ ихъ путь искривляется, тогда происходитъ радіація. Мы предполагали, что электронъ колеблется; но вмѣсто того онъ можетъ обращаться около атома, какъ спутникъ около планеты; тогда электронъ обладаетъ центростремительнымъ ускореніемъ, дѣйствующимъ также, какъ обыкновенное ускореніе.

Если радіація обусловливается движеніемъ электрона по орбитѣ, то она подвержена дѣйствію магнита; всякое движеніе электрона образуетъ электрическій токъ, а на электрическій токъ магнитъ дѣйствуетъ. Источникъ свѣта, помѣщенный между полюсами магнита, долженъ измѣниться. Фарадей сдѣлалъ нѣкоторые опыты въ этомъ направленіи, но, не располагая достаточными средствами, не достигъ никакихъ результатовъ. Съ помощью диффракціонныхъ сѣтокъ Роланда, Зееману удалось замѣтить измѣненіе свѣта, когда онъ намагничивался.

Геній нерѣдко предсказываетъ больше, чѣмъ его современники могутъ осуществить. Рядъ ученыхъ, между ними Фитцъ-Джеральдъ, Ларморъ, Лоренцъ и др., составили одну теорію, которая была любопытнымъ пророчествомъ; она предсказала, что явленіе, которое впослѣдствіи открылъ Зееманъ, будетъ имѣть мѣсто, если свѣтъ производится вращеніемъ электроновъ. По своей сущности эта теорія приближается къ астрономіи и за шесть лѣтъ передъ тѣмъ была выработана Стоксомъ на основаніи астрономическихъ принциповъ. Онъ вполнѣ изслѣдовалъ вопросъ о возмущеніяхъ обращающихся электроновъ, но не предполагалъ, чтобы они могли быть вызваны магнитомъ. Это сдѣлали Ларморъ и другіе. Они догадывались, что орбита обращающагося электрона измѣняется дѣйствіемъ сильнаго магнитнаго поля; дѣйствіе послѣдняго выражается вообще, какъ отклоняющая сила. Но такъ какъ обращающійся электронъ обладаетъ инерціею, то онъ не просто повинуется отклоняющей

силѣ, но уклоняется въ сторону, на подобіе планеты или волчка. Начинается процессіонное движеніе. Волчокъ, обладающій инерціею, не подчиняется силѣ, на него дѣйствующей, но перемѣщается по направленію перпендикулярному къ этой силѣ. Обращающійся электронъ, когда къ нему вдругъ приложена сила, не движется нормально къ полю, какъ бы этого слѣдовало ожидать, но приходитъ въ процессіонное движеніе вокругъ магнитныхъ линій. Такое процессіонное движеніе разлагаетъ первоначальную спектральную линію на три линіи. По разстоянію между этими линіями можно вычислить отношеніе заряда къ инерціи обращающихся матеріальныхъ частичекъ. Оказалось, что лучеиспускающія частички обладаютъ тою же самою инерціею и тѣмъ же самымъ зарядомъ, какъ и частички катодныхъ лучей. Всѣ извѣстныя явленія, зависящія отъ электропроводности и радіаціи, связаны съ этими чрезвычайно мелкими частичками—всюду та же инерція, тотъ же электрическій зарядъ, та же скорость.

Не останавливаясь на сцѣпленіи и химическомъ сродствѣ, разберемъ другія явленія, обусловливаемыя электронами. Эти частички, испуская свѣтящіе лучи, обращаются съ громадною повторяемостью; число колебаній, образующихъ свѣтящіе лучи, лежитъ въ предѣлахъ отъ 400 до 800 билліоновъ въ сек.; и хотя электроны кружатся около атомовъ не въ большомъ разстояніи отъ нихъ, но движутся со столь большою скоростью, что нѣкоторые изъ нихъ могутъ отрываться, и тогда происходитъ истеченіе отрицательнаго электричества изъ тѣла; это можетъ происходить отъ разныхъ причинъ; такъ электроны отрываются подъ дѣйствіемъ ультрафіолетовыхъ лучей и это вызываетъ разсѣяніе отрицательнаго электричества. Но существуютъ нѣкоторыя тѣла, какъ уранъ, которые испускаютъ эти частички безъ всякаго побужденія извнѣ; хотя бы между ураномъ и чувствительною пластинкою помѣстить алюминіевый или другой экранъ, нѣкоторыя частички проникаютъ чрезъ него и достигаютъ пластинки. Въ этомъ состояло открытіе Беккереля радіоактивности тѣлъ. Супруги Кюри открыли полоній и радій, изъ коихъ послѣдній особенно сильно радіоактивенъ. Лучи, даваемые этими веществами, чрезвычайно интересны; они легко проникаютъ чрезъ всѣ тѣла и сохраняютъ при этомъ напряженіе; они дѣйствуютъ сильнѣе X-лучей, даваемыхъ рёнтгеновскою трубкою. Лучи радія не только проникаютъ на цѣлый футъ алюминія или дерева, но проникаютъ на 3/8 дюйма свинца и сохраняютъ такую же интенсивность,

какъ лучи урана. Подробное изслѣдованіе механизма этой громадной радіаціи еще дѣло будущаго; но и теперь несомнѣнно, что тутъ происходитъ электрическое испареніе, истеченіе электроновъ; тутъ три рода радіаціи: 1) поглощаемые лучи, состоящіе изъ частичекъ, которыя быстро останавливаются препятствіями; 2) лучи, состоящіе изъ частичекъ, очень легко проникающихъ чрезъ препятствія, и 3) обыкновенные X-лучи. Хотя послѣдніе лучи и несвѣтящіе, но того же рода и состоятъ изъ волнъ въ эѳирѣ; проникающіе лучи состоятъ изъ электроновъ, выбрасываемыхъ тѣломъ. Но лучи первой категоріи, которые легко поглощаются, самые интересные, ибо они, повидимому, состоятъ изъ матеріальныхъ атомовъ, выбрасываемыхъ со скоростью, сравнимою со скоростью свѣта. При этомъ въ первый разъ обнаружилось, что вещество можетъ имѣть такую громадную скорость Рутерфордъ измѣрилъ скорость легко останавливаемыхъ частичекъ, а также ихъ массы; оказалось, что это матеріальные атомы и что они движутся съ 1/10 скорости свѣта.

Всякое нагрѣтое и всякое отрицательно наэлектризованное тѣло способно испускать электроны; радіоактивность теперь стала очень обыкновеннымъ и распространеннымъ явленіемъ. Недавно упавшія дождевыя капли радіоактивны, листья растеній и многіе другіе предметы, выставленные на солнечный свѣтъ, тоже радіоактивны; трудно даже найти что-либо, что не было бы въ большей или меньшей степени радіоактивно, и самая простая форма радіоактивности, повидимому, состоитъ въ отдѣленіи электроновъ. Повидимому и потеря электричества тѣломъ обусловливается исключительно тѣмъ, что отъ него отдѣляются электроны вслѣдствіе-ли дѣйствія центробѣжной силы, или взаимнаго отталкиванія.

Размѣры электроновъ опредѣляются въ предположеніи, что матеріальный атомъ составленъ изъ нихъ, т. е. въ предположеніи, что матерія обладаетъ электрическою инерціею, что вся ея инерція обусловливается инерціею ея зарядовъ. Не только теоретическія соображенія, но и прямые опыты приводятъ къ убѣжденію, что электрическая инерція есть единственная инерція, которая существуетъ. Послѣ этого легко опредѣлить размѣръ электрона. Такъ какъ зарядъ и масса электрона извѣстны, то легко вычислить его діаметръ; оказалось, что онъ въ сто тысячъ разъ меньше діаметра атома, иначе онъ не обладалъ бы достаточною инерціею. Такимъ образомъ это наименьшая часть ма-

теріи, которая только извѣстна. Было время, когда атомъ считали очень малымъ; правда, онъ не великъ; но электронъ гораздо меньше. Для иллюстраціи разницы между атомомъ и электрономъ представимъ себѣ точку того шрифта, которымъ напечатана наша книга, и церковь въ 50 m. вышины, 25 m. длины и 12 m. ширины; точка въ сравненіи съ такою церковью то же, что электронъ въ сравненіи съ атомомъ; въ атомѣ водорода помѣщается около тысячи электроновъ; вообразимъ тысячу точекъ разсѣянныхъ въ нашей церкви и мы получимъ нѣкоторое представленіе объ относительныхъ размѣрахъ электрона и атома. Электроны занимаютъ атомъ, обладаютъ энергію и хотя не велики, но сильно толкаютъ его; они занимаютъ атомъ въ томъ же смыслѣ, какъ солдаты занимаютъ страну, никого въ нее не впуская; электроны производимою ими силою ничего не впускаютъ въ атомъ и дѣлаютъ его непроницаемымъ; они сообщаютъ атому его остальныя свойства и заставляютъ его дѣйствовать химически. Что химическое сродство есть электрическая сила, это давно извѣстно; это предполагалъ еще Дэви.

Вопросъ о соотношеніи между электрономъ и атомомъ очень важенъ. Нельзя полагать, что электронъ неподвиженъ внутри атома; электроны вращаются одинъ около другого съ громадною скоростью, такъ что атомъ есть арена напряженной дѣятельности; внутри атома электроны ничуть не стѣснены, хотя ихъ и тысяча въ атомѣ водорода, 20 или 30 тысячъ въ атомѣ натрія и сотни тысячъ въ атомѣ ртути; но—вслѣдствіе ничтожности своихъ размѣровъ—они все-таки, очень далеки другъ отъ друга, подобно тому, какъ планеты нашей солнечной системы. Такимъ образомъ мы приходимъ къ атомистической астрономіи: атомъ уподобляется солнечной системѣ или туманности, или наконецъ Сатурнову кольцу. Атомъ составленъ изъ большаго числа частичекъ, очень быстро обращающихся и занимающихъ своимъ веществамъ весьма мало мѣста; эти частички такъ малы, что очень рѣдко сталкиваются; и въ солнечной системѣ или во вселенной могутъ происходить столкновенія, но очень рѣдко, ибо небесныя тѣла крайне малы сравнительно съ разстояніями одного отъ другого.

Полученіе гелія изъ радія

В. Рамзая и Ф. Содди[1]).

1. *Радіоактивность инертныхъ газовъ атмосферы.*

Въ послѣдніе годы было сдѣлано много опытовъ надъ самоіонизаціею газовъ атмосферы и надъ происходящей вслѣдствіе этого наведенной радіоактивностью. Возникъ вопросъ, не участвуютъ-ли въ этомъ явленіи инертные одноатомные газы атмосферы. Для рѣшенія мы примѣнили маленькій электроскопъ, который заключался въ стеклянной трубкѣ (емкостью въ 20 c. cm.), выклееной внутри оловянною бумагою. Если изъ трубки выкачать воздухъ, то приборъ сохраняетъ свой зарядъ въ теченіе 36 часовъ. Воздухъ, впущенный въ трубку, вызывалъ медленный разрядъ электроскопа. Въ подобныхъ опытахъ съ геліемъ, неономъ, аргономъ, криптономъ и ксенономъ (смѣшаннымъ съ кислородомъ), скорость разряженія была пропорціональна плотности и упругости газовъ. Это показываетъ, что газы не обладаютъ собственною радіоактивностью, и согласуется съ объясненіемъ прежнихъ изслѣдователей, что электропроводимость воздуха обусловливается постороннею радіоактивностью.

Дѣлались опыты съ остатками, которыя получаются отъ почти совершенно испарившагося жидкаго воздуха; результатъ былъ такой же; электрическое разсѣяніе не увеличивается отъ сгущенія тѣхъ составныхъ частей атмосферы, которыя можно было бы считать радіоактивными.

2. *Сущность радіоактивной эманаціи радія.*

Слово „эманація" впервые было употреблено Бойлемъ („вещественная эманація изъ небесныхъ тѣлъ"); оно вновь призвано къ жизни Рутерфордомъ для обозначенія газообразнаго веще-

---

[1]) Experiments in Radio-Activity, and the production of Helium from Radium. By Sir William Ramsay, K. C. B., F. R. S., and Mr. Frederick Soddy (Nature Aug. 13, 1903).

ства, непрерывно выдѣляемаго другими веществами. Это обозначеніе употреблялось въ томъ же смыслѣ Русселемъ („эманація изъ перекиси водорода"). Если прибавить прилагательное „радіоактивный", то явленіе Рутерфорда нельзя будетъ смѣшать съ явленіемъ, которое наблюдалъ Руссель. Здѣсь идетъ рѣчь объ эманаціи или объ радіоактивномъ газѣ изъ радія. Рутерфордъ и Содди изслѣдовали химическую природу эманаціи тора и радія и пришли къ заключенію, что эти эманаціи суть инертные газы, которые такъ сопротивляются дѣйствію на нихъ реагентовъ, какъ это до сихъ поръ наблюдалось лишь на членахъ аргонной группы. Къ такому заключенію они пришли потому, что эманаціи изъ тора и радія не измѣнялись при прохожденіи чрезъ раскаленные до-красна платиновую или палладіевую чернь, чрезъ хромистый свинецъ, цинковую пыль или порошокъ магнезіи.

Послѣ того мы нашли, что эманація радія въ смѣси съ кислородомъ надъ щелочью противостоитъ продолжительному дѣйствію искръ, а также многочасовому дѣйствію раскаленнаго порошка магнезіи, смѣшанной съ известью. И послѣ такой обработки; разряжающая способностъ сохранялась неизмѣнною: самосвѣченіе газа могло служить оптическимъ доказательствомъ ея устойчивости.

Въ одномъ изъ опытовъ малая часть смѣси эманаціи съ кислородомъ (чрезъ которую нѣсколько часовъ проходили искры) была достаточна, чтобы моментально разрядить электроскопъ. Если изъ смѣси—при помощи сжиганія фосфора—удалить кислородъ, то, повидимому, ничего не оставалось въ трубкахъ. Когда же въ такую трубку вводился другой газъ, то эманація оказывалась въ прежнемъ количествѣ. Такимъ образомъ сгораніе фосфора въ кислородѣ и искры въ смѣси съ кислородомъ не имѣютъ вліянія на газъ, поскольку это касается проявленія его радіоактивныхъ свойствъ.

Съ эманаціею можно обращаться, какъ съ газомъ: ее можно выкачать при помощи тёплеровскаго насоса, ее можно сгустить въ U-образной трубкѣ, окруженной жидкимъ воздухомъ. Когда эманація сгущена, ее можно промыть другимъ газомъ и затѣмъ совершенно выкачать, послѣ чего она не свѣтится и не обладаетъ разряжающею способностью. Перетеченіе эманаціи съ одного мѣста трубки въ другое можно прослѣдить глазами въ темной комнатѣ. Открывая кранъ между трубкою, заключающею эмана-

цію, и насосомъ, можно прослѣдить ея медленное теченіе чрезъ капиллярную трубку, быстрое теченіе чрезъ широкую, замедленіе пробкою изъ фосфорнаго ангидрида и внезапную диффузію въ резервуарѣ насоса. При сжатіи свѣченіе ярче. Наведенная радіоактивность, оставленная на стеклѣ эманаціею, тоже можетъ быть наблюдаема. Если эманація лишь короткое время соприкасалась со стекломъ, то наведенная радіоактивность сохраняется тоже недолго; если же эманація долго сохранялась, то и наведенная эманація убываетъ лишь медленно.

Эманація, какъ и соли радія, вызываетъ химическія дѣйствія. Если въ стеклянную трубочку налить ртути и воднаго раствора бромистаго радія, поверхъ котораго заключить кислородъ, то стекло въ одну ночь окрашивается въ фіолетовый цвѣтъ, а поверхность ртути покрывается пленкою красной окиси.

3. *Присутствіе гелія въ газахъ, выдѣляющихся изъ бромистаго радія.*

Газъ, который выдѣляется изъ 20 mgr. бромистаго радія (послѣ его растворенія въ водѣ) и состоящій главнымъ образомъ изъ водорода и кислорода, былъ испытанъ относительно гелія; водородъ и кислородъ, равно какъ и водяные пары, удалялись; затѣмъ газъ вводился въ разрядную трубку, которая обнаруживала спектръ углекислоты. Разрядная трубка охлаждалась жидкимъ воздухомъ, вслѣдствіе чего спектръ углекислоты сильно ослаблялся, и затѣмъ появлялась линія D_3 гелія. Въ спектроскопѣ одновременно наблюдались спектры эманаціи и гелія, и линіи совпадали по крайней мѣрѣ до 0·5 ангстрёмовской единицы.

При повтореніи опыта были видны линіи 6677, 5876, 5016, 4932, 4713 и 4472; кромѣ того были еще видны линіи 6180, 5695 и 5455, значеніе которыхъ не установлено.

4. *Происхожденіе гелія изъ эманаціи радія.*

Всю эманацію, полученную изъ 50 mgr. бромистаго радія, переводили съ помощью кислорода въ U-образную трубку, охлажденную жидкимъ воздухомъ, и затѣмъ выкачивали насосомъ; наконецъ трубку промывали чистымъ кислородомъ, который опять выкачивали. Разрядная трубочка, припаянная къ U-трубкѣ, по удаленію жидкаго воздуха, не обнаруживала и слѣда гелія.

Получался новый спектръ, принадлежащій, вѣроятно, эманаціи. Послѣ того, какъ трубочка простояла съ 17 по 21 іюля, появился спектръ гелія; 22 іюля появились желтая, зеленая, двѣ синіи и фіолетовая линіи, а также тѣ три новыя линіи, которыя свойственны гелію, полученному изъ радія. Повтореніе опыта дало тѣ же результаты.

Пасхальное засѣданіе 1903 г. Французскаго Физическаго Общества

Э. Ротэ[1].

II. Выставка.

1. *Классные приборы.*

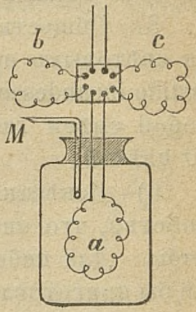
Недавно программы французской средней школы были измѣнены съ цѣлью сдѣлать ихъ болѣе практичными и развить въ ребенкѣ наклонность къ опыту. Третій и второй классы новыхъ школъ (écoles modernes) ведутся уже по этимъ программамъ: во время практическихъ занятій ученики сами устраиваютъ простые приборы и очень увлекаются этимъ; введенный лишь съ начала настоящаго учебнаго года, новый методъ, повидимому, даетъ прекрасные результаты. Окружные начальники (inspecteurs généraux) очень рекомендуютъ преподавателямъ среднихъ школъ всюду обращать возможно большее вниманіе на демонстрацію физическихъ явленій. Съ своей стороны Физическое Общество печатаетъ сборникъ простыхъ опытовъ. Выставка должна была носить слѣды этого новаго направленія въ преподаваніи и дѣйствительно на ней было много классныхъ приборовъ. Мы опишемъ нѣкоторые изъ нихъ.

1) Простой приборъ П. Морена (P. Morin) для доказательства закона Джауля; онъ состоитъ изъ трехъ металлическихъ

---

[1]) Окончаніе; см. стр. 197.

проволокъ *a*, *b* и *c* (фиг. 13) одинаковаго сопротивленія; первая помѣщена въ стеклянную банку, наполненную воздухомъ и сообщающуюся чрезъ трубочку *M* съ чувствительнымъ диффеpенціальнымъ манометромъ; двѣ другія проволоки *b* и *c*, могутъ соединяться съ первою или послѣдовательно или параллельно. Количество тепла, развивающееся въ проволокѣ *a*, опредѣляется по нагрѣванію воздуха въ банкѣ.



фиг. 13.

2) Приборы *Лоозера*; о нихъ упоминалось въ прошлогоднемъ отчетѣ [1]).

3) Вертикальная оптическая скамейка *Шампаньи* изготовляется механикомъ Гризеленомъ (Griselin) за 50 fr.; она сдѣлана изъ дерева и можетъ служить фокометромъ.

4) Приборъ *Фусеро* (Foussereau) для наблюденій главнѣйшихъ явленій диффракціи и интерференціи [2]); приборъ этотъ настолько простъ, что каждый ученикъ самъ можетъ легко его устроить; онъ состоитъ изъ двухъ латунныхъ трубокъ (длиною отъ 30 до 35 cm. каждая), входящихъ съ легкимъ треніемъ одна въ другую. На концѣ одной трубки укрѣпляютъ металлическую пластинку съ маленькимъ круглымъ отверстіемъ (центральнымъ) или съ узкою щелью (0·02—0·08 cm.), которыя, будучи освѣщены солнечнымъ свѣтомъ, отраженнымъ отъ стѣны, или газовымъ рожкомъ, служатъ источникомъ свѣта. Въ другой трубкѣ помѣщаютъ: 1) на концѣ, наиболѣе удаленномъ отъ источника, окуляръ отъ микроскопа и 2) въ разстояніи отъ 6 до 30 cm. отъ окуляра, экранъ изъ папиросной бумаги, на которомъ получается разсматриваемое явленіе. Всѣ эти части укрѣпляются въ трубкахъ при помощи пробокъ. Приборъ регулируется очень просто—вдвиганіемъ или выдвиганіемъ трубокъ и вращеніемъ одной изъ нихъ внутри другой. Если въ первую трубку помѣстить еще непрозрачную пластинку съ малымъ отверстіемъ, то на экранѣ получается рядъ колецъ съ бѣлымъ или чернымъ центромъ, смотря по разстоянію пластинки отъ экрана. Если помѣстить тонкое стекло, посыпанное порошкомъ сѣмени ликоподія, то получаются фраун-

---

[1]) См. также статью Кольбе, стр. 32.

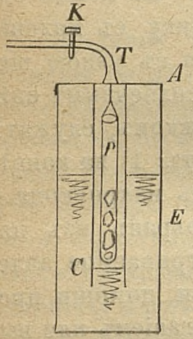
[2]) J. de ph. 1902 p. 642.

гоферы кольца. Если взять одну щель, какъ источникъ свѣта, и вторую, какъ предметъ, то внѣ изображенія послѣдняго получается рядъ полосокъ.

Въ свѣтломъ полѣ отъ прямого края наблюдаются четыре или пять темныхъ полосъ.

5) Общество „l'Oxhydrique française" выставило горѣлку для свѣтовыхъ проекцій; при помощи неизмѣняемой пластинки, (pastille incandescente inaltérable), которая раскаляется пламенемъ особой смѣси газовъ, получается источникъ свѣта отъ 500 до 600 свѣчей.

6) Извѣстно, что сжатый кислородъ представляетъ то неудобство, что онъ хотя медленно, но непрерывно вытекаетъ изъ бомбы. Для небольшихъ школъ удобнѣе имѣть приборъ, который бы приготовлялъ кислородъ. Взамѣнъ извѣстнаго прибора Салерона [1]) Жоберъ (Jaubert) устроилъ новый приборъ; онъ изобрѣлъ *оксилитъ* (oxylithe) или кислородный камень; это спрессованная въ кубики перекись калія, которая — въ соприкосновеніи съ водою — выдѣляетъ совершенно чистый кислородъ. Самый приборъ очень простъ; онъ состоитъ изъ корзины P (фиг. 14), наполненной кусками оксилита и подвѣшенной внутри колокола C, который опущенъ въ сосудъ E съ водою. Колоколомъ этотъ сосудъ раздѣляется на двѣ части: на центральную и окружающую ее кольцеобразную; кислородъ можетъ выдѣляться только въ центральную часть, оттуда выпускается чрезъ никкелированную трубку T съ краномъ K. Если этотъ кранъ закрыть, то выдѣленіе кислорода прекращается, ибо скопляющійся газъ вытѣсняетъ воду въ кольцеобразное пространство сосуда. Всякая опасность взрыва устранена, ибо крышка A прикрѣплена къ сосуду только каучуковымъ кольцомъ и легко пропускаетъ воду въ случаѣ избытка давленія. Съ 50 граммами оксилита можно получить сто литровъ кислорода; этого количества достаточно для горѣнія одной горѣлки въ теченіе четырехъ часовъ или четырехъ горѣлокъ въ продолженіи одного часа.

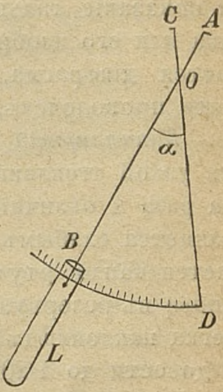


фиг. 14.

[1]) *Физическое Обозрѣніе* 1 т. (1900) стр. 297.

2. *Научные приборы.*

Употребляемый для измѣренія толщины предметовъ кронциркуль непримѣнимъ къ измѣренію діаметра канала и т. п. Для этого предназначается циркуль Донжье и Моро, состоящій изъ двухъ металлическихъ стержней AOB и COD (фиг. 15), подвижныя около точки O; къ CD прикрѣплена раздѣленная дуговая пластинка; дѣленія этой пластинки, отсчитываются въ прикрѣпленную къ стержню AB трубу L, послѣ ихъ полнаго отраженія въ призмѣ, прикрѣпленной къ стержню CD.



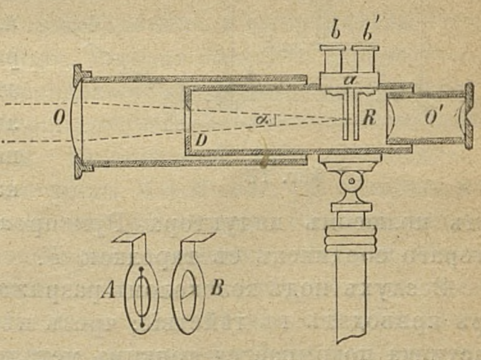
фиг. 15.

Изъ выставленныхъ вѣсовъ обращали на себя вниманіе вѣсы Кюри съ очень короткимъ коромысломъ, но чувствительные до 0·01 mgr.; въ этихъ вѣсахъ замѣчательна точная установка ножей; особымъ механизмомъ можно, не отворяя шкапчика, перемѣщать чашки одну на мѣсто другой.

Двое другихъ вѣсовъ выставлены были Колло и предназначены для опредѣленія плотностей жидкостей (одни вѣсы, названные „сахарометрическими", служатъ для прямого опредѣленія сахара въ растворѣ); они устроены аналогично съ извѣстными вестфалевскими вѣсами.

Фери выставилъ *пирометрическую трубку*, съ помощью которой онъ изслѣдовалъ лучеиспусканіе металлическихъ окисей и ауэровскаго чулка.

Приборъ состоитъ изъ трубки съ объективомъ O (фиг. 16) изъ плавиковаго шпата и окуляромъ O'; въ фокусной плоскости послѣдняго помѣщается термоэлектрическій элементъ R, состоящій изъ константановой и желѣзной проволочекъ (0·0003 mm. толщины), натянутыхъ по взаимно перпендикулярнымъ діаметрамъ двухъ металлическихъ колецъ

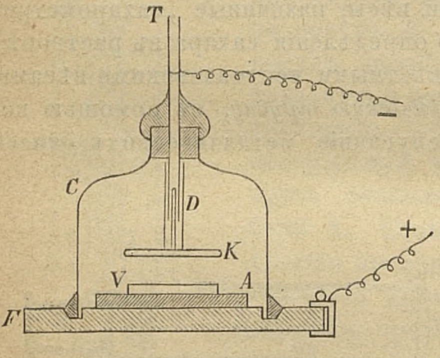


фиг. 16.

A и *B* (см. рис. слѣва внизу); эти кольца сближены между собою и проволочки спаяны въ точкѣ взаимнаго пересѣченія; кольца прикрѣплены къ изолирующей пластинкѣ *a* и соединены съ клемами *b* и *b'*, отъ которыхъ идутъ проволоки къ гальванометру. Объективомъ *O* образуютъ изображеніе источника въ плоскости проволочекъ, о чемъ судятъ смотря въ окуляръ. Для того, чтобы показаніе гальванометра не зависѣло отъ размѣровъ источника или его изображенія, передъ проволочнымъ крестомъ помѣщается діафрагма, допускающая лучи лишь до опредѣленной части проволочекъ.

Капиллярный электрометръ Гульвига (Houllevigue) состоитъ изъ узкой стеклянной трубочки (1·25 mm. въ діаметрѣ), согнутой два раза и оканчивающейся двумя резервуарами; трубочка наполняется слабымъ растворомъ сѣрной кислоты; въ ней помѣщается капля ртути, которая вытягивается въ столбикъ 2 cm. длины; въ резервуары опускаютъ платиновые электроды; трубку слегка наклоняютъ къ горизонту. Чувствительность прибора легко довести до 1/20000 volt.

Гульвигъ выставилъ еще металлическія пластинки, полученныя *іонопластикою* (процессомъ аналогичнымъ гальванопластикѣ). Стеклянный колоколъ *C* (фиг. 17) приклеивается къ чугунной тарелкѣ *F*, на которую кладется стеклянная пластинка *V*; надъ нею (въ разстояніи около 15 mm.) помѣщается катодъ *K* того или другого металла, который хотятъ осадить на *V*; этотъ катодъ чрезъ металлическую трубку *D* соединяется съ разрѣжающимъ насосомъ и съ отрицательнымъ полюсомъ индуктора Румкорфа, положительный полюсъ котораго соединенъ съ тарелкою *F*.



фиг. 17.

Воздухъ подъ колоколомъ разрѣжаютъ до 1/100 mm. и индукторъ приводятъ въ дѣйствіе; чрезъ нѣкоторое время стеклянная пластинка покрывается тонкимъ металлическимъ слоемъ. Въ проходящемъ свѣтѣ эти пластинки представляются окрашенными: мѣдная—въ зеленый цвѣтъ, золотая—въ зеленовато-синій, се-

ребряная—въ фіолетовый. Въ отраженномъ свѣтѣ они представляютъ цвѣта тонкихъ пластинокъ.

Полученные такимъ образомъ металлическіе слои находятся въ состояніи крайняго натяженія: слой палладія, лопается и трескается подъ вліяніемъ влаги отъ дыханія. Слои недолговѣчны и по другимъ причинамъ: мѣдный слой мало по малу обезцвѣчивается, особенно по краямъ, гдѣ онъ толще; причина тому, повидимому, заключается въ окисленіи. Слой висмута не измѣняетъ своего сопротивленія въ магнитномъ полѣ. Слои желѣза, помѣщенные между полюсами электромагнита Румкорфа, вращаютъ плоскость поляризаціи луча (на 1°18′ въ полѣ 12250 единицъ напряженія).

3. *Техническіе приборы.*

Требованія техники вызываютъ часто изобрѣтенія, интересныя и въ научномъ отношеніи. Въ послѣднее время такія требованія шли отъ строителей автомобилей. Такъ для взрывовъ газа въ автомобильныхъ двигателяхъ потребовалось устроить новый механическій прерыватель (электролитическій не примѣнимъ), который бы дѣйствовалъ правильно и съ большою повторяемостью. Мами рѣшилъ задачу очень удовлетворительно. Городскія станціи даютъ обыкновенно перемѣнные токи; между тѣмъ иногда, напр. для заряженія аккумуляторовъ, необходимъ постоянный токъ. Въ настоящее время изучаютъ электролитическіе выпрямители (системы Поллака, Нодона и др.), но они еще не вошли въ практику, и пока приходится довольствоваться механическими выпрямителями.

Къ числу послѣднихъ принадлежитъ и выпрямитель Руже и Фаже. Главная часть прибора, которая создаетъ перемѣнное поле, есть въ сущности неподвижное граммовское кольцо съ тою лишь разницею, что проволокою обмотана одна наружная половина желѣзнаго кольца. Перемѣнный токъ приводится къ двумъ противоположнымъ точкамъ A и B (фиг. 18) обмотки и создаетъ въ кольцѣ перемѣнное магнитное поле, силовыя линіи котораго имѣютъ форму, указанную на чертежѣ. Вторая обмотка, покрывающая ту же половину кольца, соединяется съ коллекторомъ, къ которому прикасаются двѣ щетки A' и B'. Токомъ первой обмотки наводится токъ во второй обмоткѣ. Пусть электродвижущая сила даннаго тока

$$E = E_0 \sin \omega t \,. \qquad (1)$$

Если линія щетокъ $A'B'$ составляетъ уголъ α съ AB, то въ первомъ приближеніи можно принять, что разность потенціаловъ щетокъ

(2) $$e = E\cos\alpha = E_0 \cos\alpha \sin\omega t.$$

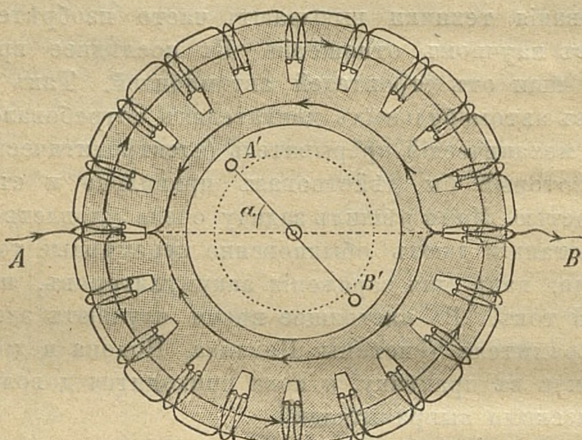
Если какимъ-нибудь способомъ мы осуществимъ условіе

(2а) $$\cos\alpha = \sin\omega t\,,$$

то

(3) $$e = E_0 \sin\omega t = \frac{E_0}{2}(1 - \cos 2\omega t)\,.$$

Эта разность потенціаловъ на щеткахъ складывается изъ двухъ частей: изъ постоянной разности $E_0/2$ и перемѣнной



фиг. 18.

$E_0 \cos 2\omega t/2$, наибольшее значеніе которой $E_0/2$. Такимъ образомъ получается выпрямленный токъ, т. е. никогда не принимающій отрицательныхъ значеній, и потому удовлетворяющій сказаннымъ цѣлямъ.

Остается объяснить, какъ можно осуществить условія (2а) или, что то же самое,

(3а) $$\alpha = \frac{\pi}{2} + \omega t\,,$$

которое, очевидно, состоитъ въ томъ чтобы, уголъ между линія-

ми AB и $A'B'$ измѣнялся періодически съ повторяемостью ω. Для этого надо, понятно, чтобы щетки не были неподвижны, а вращались съ повторяемостью ω, и чтобы линія AB составляла съ $A'B'$ уголъ α, опредѣляемый предыдущею формулою. Для этого щетки прикрѣпляютъ къ подвижному желѣзному кольцу, которое надѣваютъ на одну ось съ неподвижнымъ кольцомъ; это второе кольцо обматывается тонкою проволокою, въ которую изъ подвижныхъ щетокъ отвѣтвляется токъ, намагничивающій его такимъ образомъ, что оно приходитъ въ синхроническое вращеніе съ повторяемостью ω. Вслѣдствіе этого уголъ между линіями AB и $A'B'$ будетъ

$$\alpha = \alpha_0 + \omega t;$$

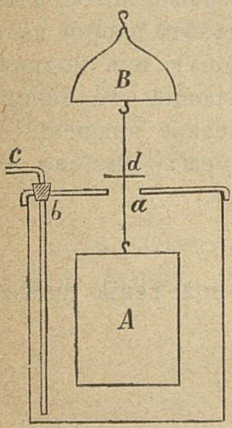
выбравъ надлежащимъ образомъ начальное положеніе щетокъ ($\alpha_0 = \pi/2$), мы выполнимъ условіе (3a).

Опредѣленіе плотности углекислаго газа

Н. С. Дрентельна.

Приборъ. Легкій жестяной цилиндръ A (фиг. 1), наглухо задѣланный, около 10 cm. высоты и около 8 cm. діаметра (слѣд. объемомъ около 1/2 литра), съ помощью крючечка подвѣшивается на проволокѣ къ „укороченной" чашкѣ вѣсовъ B. Самый цилиндръ помѣщается въ стаканѣ (отъ гальваническаго элемента) такихъ размѣровъ, чтобы по сторонамъ цилиндра оставался промежутокъ въ 2 или 3 cm. Стаканъ закрывается жестяною крышкою съ двумя отверстіями: a (въ 1/2 cm.) для прохода подвѣсной проволоки, и b, въ которую на пробкѣ вставляется изогнутая подъ прямымъ угломъ стеклянная трубка (съ помощью кусочка резиновой), доходящая почти до дна стакана; конецъ c полезно снабдить подвижнымъ стекляннымъ наконечникомъ (т. е. прикрѣпленнымъ къ c съ помощью резиновой перемычки). Къ подвѣсной проволокѣ припаяна поперечная задержка d, не позволяющая чашкѣ B слишкомъ опускаться. Для того, чтобы съ другой стороны, цилиндръ A при качаніяхъ коромысла не могъ уда-

ряться о крышку, подъ другую чашку вѣсовъ предварительно помѣщаютъ деревянные подкладыши. Расположеніе частей должно быть таково, чтобы качанія коромысла были стѣснены небольшими предѣлами—чтобы стрѣлка не заходила по обѣ стороны дальше пятыхъ дѣленій. Этимъ будутъ устранены случайные сильные толчки, которые могли бы повредитъ наблюденію.



фиг. 1.

Берутся вѣсы съ чувствительностью до центиграмма при нагрузкѣ граммовъ въ 100. Наблюденіемъ качаній на такихъ вѣсахъ можно обыкновенно дѣлать примѣрную оцѣнку и долей центиграмма.

Наблюденіе. Тщательно тарировавъ цилиндръ, пропускаютъ въ стаканъ углекислый газъ (изъ прибора Киппа и т. п.) и накладываніемъ разновѣсковъ на чашку *B* опредѣляютъ, насколько „потеря вѣса" цилиндра въ углекисломъ газѣ превышаетъ таковую же въ воздухѣ. Зная объемъ цилиндра (изъ его высоты и діаметра) и вѣсъ 1 c. cm. комнатнаго воздуха (въ среднемъ 1·2 mgr.), вычисляютъ отсюда плотность углекислаго газа относительно воздуха. Два тщательно произведенныхъ опыта дали числа 1·50 и 1·52.

Приборъ назначенъ для *практическихъ работъ* учащихся; онъ годится и для класснаго опыта, если есть возможность отвести для него достаточно времени (около получаса).

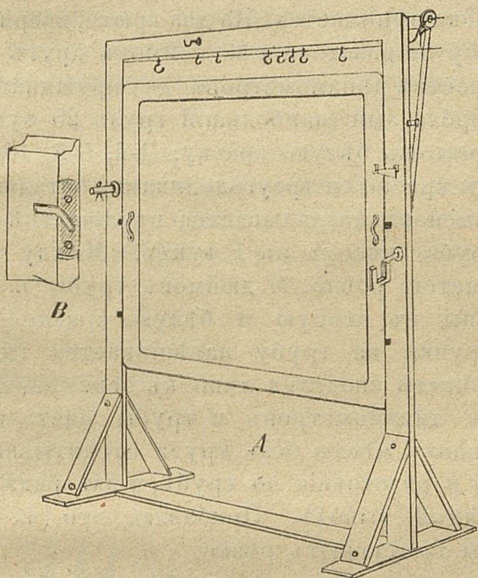
Спб., 1903.

Доска для физическаго кабинета

Г. М. Григорьева.

При часто встрѣчающейся тѣснотѣ физическихъ кабинетовъ приходится эксплуатировать каждое мѣстечко для прилаживанія тѣхъ или иныхъ установокъ. Немного измѣненная классная доска оказалась весьма пригоднымъ для этой цѣли предметомъ.

Рекомендуемая мною „доска" (фиг. 1) состоитъ изъ вертикальной рамы въ 2 m. высоты и 1·5 m. ширины, внутри которой на двухъ горизонтальныхъ цапфахъ вращается обыкновенная классная доска, склеянная изъ тонкихъ досокъ и снабженная особою рамою. Доска обтянута ленолеумомъ, при чемъ одна ея сторона разграфлена въ клѣтку, что удобно при черченіи различныхъ графикъ. Цапфы лежатъ въ прорѣзахъ вертикальной рамы. Изъ этой рамы доска легко можетъ быть вынута при помощи ручекъ, привинченныхъ къ ея рамкѣ. Вертикальная рама имѣетъ еще



фиг. 1.

вторые прорѣзы, нѣсколько ниже первыхъ, въ которые можетъ быгь переставлена доска. Въ вертикальномъ положеніи доска закрѣпляется при помощи шкворня; послѣдній проходитъ сбоку сквозь вертикальную раму и входитъ въ углубленіе, продѣланное въ рамкѣ доски. Когда доска стоитъ вертикально и цапфы лежатъ въ верхнихъ прорѣзахъ, верхній край доски, центиметровъ на 15 не доходитъ до верхней перекладины рамы; это даетъ возможность ввинтигь въ эту перекладину крючки для подвѣшиванія различныхъ предметовъ: крючки не будутъ мѣшать поворачиванію доски. Доска можетъ быть установлена и гори-

зонтально[1]); въ такомъ положенiи она закрѣпляется небольшою рейкою, отгибающеюся отъ вертикальной рамы. Къ верхней перекладинѣ большой рамы прилаженъ съ одной стороны экранъ-штора. Вся доска сравнительно очень легко и удобно передвигается съ одного мѣста на другое. Такая подвижность важна особенно для экрана.

Перехожу къ описанiю нѣкоторыхъ общеизвѣстныхъ опытовъ, нѣсколько лишь мною измѣненныхъ въ видахъ большей демонстративности и прилаженныхъ къ вышеописаной доскѣ.

1. *Разложенiе силъ на двѣ параллельныя*, направленныя въ одну сторону. Доска вынимается. На два крюка, ввернутыхъ въ верхнюю перекладину на разстоянiи 30 дюймовъ другъ отъ друга, вѣшаются, въ качествѣ динамометровъ, два пружинныхъ безмена съ круглыми циферблятами (наибольшiй грузъ 20 фунтовъ). Циферблять закрашены въ бѣлую краску; 1-й, 5-й, 10-й, 15-й и 20-й фунты отмѣчены красными треугольниками, остальные—черными. На крючки безменовъ накладывается въ качествѣ „тѣла" желѣзная газовая труба, вѣсомъ въ 1 фунтъ. Между крючками безменовъ помѣщается ровно 30 дюймовъ трубы[2]). Дюймы чрезъ одинъ окрашены въ черную и бѣлую краску. При помощи S-образнаго кручка на трубу навѣшивается гиря. Роль учителя въ этомъ опытѣ сводится лишь къ перемѣщенiю гири вдоль трубы: дѣленiя динамометровъ и трубы настолько ясны, что учащiеся со своихъ мѣстъ безъ труда отсчитываютъ показанiя динамометровъ и разстоянiя по трубѣ, и изъ ряда записей сами получаютъ нужный выводъ. Прибавлю, что на бѣломъ фонѣ экрана приборы выступаютъ рѣзко.

2. При помощи тѣхъ же приборовъ, присоединяя лишь блоки, показывается *сложенiе силъ*, направленныхъ въ разныя стороны. Равнодѣйствующую указываетъ динамометръ, на крюкъ котораго опирается одинъ конецъ трубы.

3. Тою же трубою можно воспользоватъся для уясненiя условiй *равновѣсiя на рычагѣ 2-го рода*. Опорою служитъ стальной ножъ, ввернутый въ вертикальную раму.

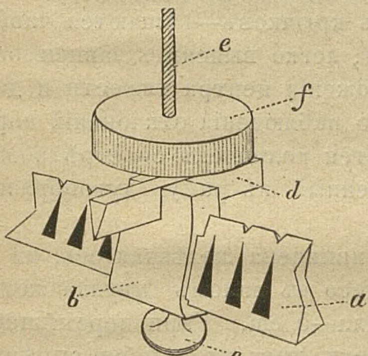
---

[1]) Къ этому я прибѣгаю между прочимъ при демонстрацiи магнитныхъ склоненiй. На доску накалывается карта сѣвернаго или южнаго полушарiя и въ различныхъ мѣстахъ ея устанавливаются магнитныя стрѣлки. Перемѣщенiемъ сильнаго магнита вблизи полюса показывается измѣненiе склоненiй.

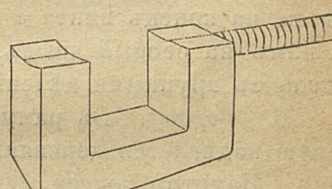
[2]) Труба раздѣлена на дюймы, а не на центиметры, лишь потому что имѣющiеся у меня безмены показываютъ фунты.

4. *Параллелограмъ силъ.* Доска остается на мѣстѣ. На большую раму надѣваются двѣ струпцинги съ блоками (блоки тѣ же, что въ приборѣ Вейнгольда; выписаны отъ Макса Коля). Блоки могутъ закрѣпляться въ любомъ мѣстѣ рамы. Чрезъ блоки перекидывается бѣлый шелковый некрученый шнуръ съ узломъ по срединѣ (точка приложенія силъ). На узелъ и концы шнура навѣшиваются грузы. Я пользуюсь граммовыми разновѣсками отъ 1 kgr. до 10 gr. Гирьки снабжены крючками [1]). Направленіе составляющихъ дается на доскѣ тѣнью отъ шнурка. При помощи линейки, раздѣленной на центиметры съ черными, красными и бѣлыми дѣленіями, откладываются линіи пропорціональныя силамъ и строится параллелограмъ; діагональ измѣряется тою же линейкою (видно всему классу). Ошибка рѣдко достигаетъ 1%.

5. *Рычагъ перваго рода. Устойчивое, неустойчивое и безразличное равновѣсіе. Условія чувствительности вѣсовъ.* Для всѣхъ этихъ опытовъ служитъ одинъ и тотъ же приборъ, изображенный на фиг. 2. Приборъ состоитъ изъ стального стержня



фиг. 2.



фиг. 3.

a длиною въ 81 cm. и представляющаго въ сѣченіи узкій равнобедренный треугольникъ. На половинѣ длины стержень обхватывается стальною петлею *b*, въ которой онъ закрѣпляется винтомъ *c*. Въ верхнюю часть петли, перпендикулярно длинѣ стержня,

---

1) Крючки придѣлаетъ любой слесарь, а вывѣрить разновѣсъ съ ошибкою менѣе 0·1 gr. весьма просто, какъ я убѣдился по собственному опыту. Полезно имѣть два набора разновѣсковъ.

врѣзана призма *d* съ винтомъ *e*, по которому можетъ передвигаться массивная мѣдная круглая чайка *f*. Стержень *a* раздѣленъ на сантиметры, и дѣленія отмѣчены красными, бѣлыми и черными треугольниками, накрашенными на одной изъ граней стержня. Кромѣ того, противъ каждаго дѣленія на верхнемъ ребрѣ стержня имѣются треугольныя вырѣзки. Приборъ устанавливается на особую подставку (фиг. 3), притянутую гайкою къ вертикальной рамѣ доски. Для подвѣшиванія грузовъ (выше указанныхъ разновѣсковъ съ крючками) имѣются четыре плоскихъ кольца съ острымъ внутреннимъ краемъ. Всѣ кольца сточены до равнаго вѣса. На два изъ нихъ подвѣшиваются гирьки, два другихъ служатъ для компенсаціи вѣса первой пары колецъ. Въ такомъ видѣ приборъ служитъ для выясненія законовъ рычага.

Безъ грузовъ и колецъ этотъ же приборъ выясняетъ условія устойчиваго, неустойчиваго и безразличнаго равновѣсія тѣла, имѣющаго точки опоры на одной прямой. Для этой цѣли гайка *f* перемѣщается вдоль винта *e* [1]).

Для демонстрированія условій чувствительности вѣсовъ на стержень *a*, играющій роль коромысла, надѣваютъ 2 кольца, а на нихъ—при посредствѣ S-образныхъ крючковъ—вѣшаются чашки. Мѣняя плечи и перемѣщая гайку *f*, легко выяснить зависимость чувствительности вѣсовъ отъ положенія центра тяжести и длины коромысла. Для болѣе удобнаго наблюденія отклоненій коромысла, на конецъ винта *e* надѣвается колпочекъ со стрѣлкою, а за нимъ на особый крюкъ, ввинченный въ раму, дугообразная шкала съ крупными дѣленіями.

6. *Воротъ.* Въ раму доски ввинчена желѣзная ось, на которую надѣвается деревянное колесо съ валомъ (втулка желѣзная). Діаметръ колеса 20 cm., вала—5 cm. Гири перемѣщаются вдоль вертикальнаго бруска доски, такъ что удобно отмѣчать пути, пройденные гирями, и выяснить работу. На этомъ же приборѣ показывается, что сила, нужная для преодолѣнія тренія [2])

---

[1]) При неустойчивомъ равновѣсіи, если гайка не поднята чрезмѣрно высоко, приборъ не опрокидывается, а ложится на боковую грань призмы.

[2]) Законы тренія выясняются раньше при помощи самодѣльнаго трибометра —сосновой доски съ блокомъ. Салазками служатъ сосновыя же дощечки, трущіяся площади которыхъ относятся, какъ 1 : 2 : 3. Дощечки взвѣшиваются тутъ же на урокѣ, а при опытахъ отягощаются опредѣленными грузами. Изъ ряда наблюденій получается вполнѣ хорошее среднее число. Насколько мнѣ извѣстно, учителя физики очень рѣдко продѣлываютъ этотъ прекрасный по про-

въ блокѣ, зависитъ отъ радіуса блока и отъ величины нагрузки. Демонстрируется также вліяніе смазыванія. Все это выражается численно, благодаря примѣненію вышеупомянутыхъ граммовыхъ разновѣсковъ.

7. *Блоки и полиспасты* навѣшиваются на крючки, ввинченные въ верхнюю перекладину рамы. Доска при этомъ вынимается и экранъ спускается, такъ что блоки и веревки выступаютъ рѣзко. Я пользуюсь блоками въ 2·5 дюйма въ діаметрѣ, вѣсомъ около 250 gr.[1]). Эти блоки могутъ выдерживать нѣсколько пудовъ при соотвѣтственныхъ бичевкахъ, штативъ же вполнѣ надеженъ. Пользоваться же большими грузами, хотя бы до пуда, я считаю полезнымъ, такъ какъ никакія разъясненія и опыты не дадутъ того, что дастъ ученику непосредственное чувство, когда онъ, шутя, поднимаетъ пуды.

Къ рамѣ доски могутъ быть приспособлены и другіе приборы, напр. маятники, упругіе шары и пр., но этого у меня не сдѣлано.

Спб., Гимназія кн. Оболенской.

стотѣ и весьма поучительный опытъ. Во-первыхъ, на этомъ опытѣ отлично выяснить сущность физическаго закона вообще; уяснить значеніе ряда наблюденій. Во-вторыхъ законы тренія необходимо должны быть усвоены, чтобы опытнымъ путемъ выводитъ условія равновѣсія силъ на простыхъ машинахъ, такъ какъ только, принимая въ соображеніе треніе и каждый разъ вычисляя его, можно получить правильныя отношенія. Такъ напр. на прекрасной Бертрамовской наклонной плоскости можно получить числа, разнящіяся лишь на ничтожныя доли процента, если принимать въ соображеніе треніе.

[1]) Такіе блоки чисто сдѣлаетъ всякій порядочный слесарь и стоить будутъ по крайней мѣрѣ вчетверо дешевле блоковъ, имѣющихся въ магазинахъ физическихъ приборовъ, гдѣ приходится вмѣстѣ съ блоками брать наборъ гирь произвольнаго вѣса, которыя придется выкинуть, такъ какъ съ ихъ помощью показать, конечно, ничего нельзя. Да и блоки обыкновенно жидки и штативы неустойчивы.

Физическій кабинетъ.

9) *Стоячія электрическія волны*, распространяющіяся вдоль проволоки (см. *Физ. Обозр.* 2 т. (1901), стр. 75) можно легко демонстрировать, пользуясь сильною флуоресценціею ціанисто-платиноваго барія вблизи электрическаго истеченія. Бумажную ленту въ 5 cm. ширины, покрытую слоемъ ціанисто-платиноваго барія, располагаютъ вблизи проволоки: лента ярко свѣтится въ пучностяхъ и остается темною въ узлахъ; явленіе вполнѣ замѣтно даже въ разстояніи 15 m.

(ZS. f. phys. Unterr. XVI).

10) *Опредѣленіе вѣса одного куб. центиметра воздуха.* Колба въ 2 или 3 литра емкости запирается пробкою, чрезъ которую проходитъ стеклянная трубка съ краномъ. Колба (при открытомъ кранѣ) тарируется на вѣсахъ. Колбу снимаютъ съ вѣсовъ и воздухъ изъ нея высасываютъ ртомъ; закрывая кранъ послѣ высасыванія и повторяя его нѣсколько разъ, можно достичь значительнаго разрѣженія. Затѣмъ колбу опять ставятъ на вѣсы, которые снова уравновѣшиваютъ грузами (около 1 gr.), которые показываютъ вѣсъ воздуха, удаленнаго изъ колбы. Послѣ этого колбу снимаютъ съ вѣсовъ; опрокинувъ, кончикъ трубки погружаютъ въ воду и открываютъ кранъ, при чемъ въ колбу входитъ столько воды, что оставшійся воздухъ принимаетъ упругость равную атмосферы. Объемъ вошедшей воды равенъ объему высасаннаго воздуха. Отношеніе вѣса этого воздуха къ вѣсу вошедшей воды дастъ вѣсъ одного кубическаго центиметра воздуха при атмосферномъ давленіи.

(ZS. f. phys. Unterr. XVI).

11) *Полюсы магнита.* Намагнитить тонкую стальную полоску (часовую пружину въ 20 или 30 cm. длины и 1 cm. ширины); къ одному изъ концовъ приложить кусочекъ желѣза, который прилипнетъ. Если теперь полоску согнуть такъ, чтобы второй конецъ накладывался на первый, то кусочекъ желѣза тотчасъ же отпадетъ; слѣдовательно полюсы магнита одинаково сильны и противоположны.

(*J. F. Schreiber*, Physik. Experimentier-Buch).

Конецъ 4-го тома.